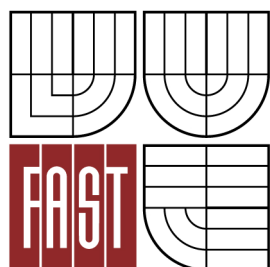




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

VÝPOČET ÚNOSNOSTI STROPNÍ KONSTRUKCE POMOCÍ PROGRAMU ANSYS

CALCULATION OF CIELING CONSTRUCT LOADING CAPACITY OF BY ANSYS PROGRAM.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Petr Obršlík

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JARMILA KŘIVÁKOVÁ, CSc.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | B3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby |
| Pracoviště | Ústav stavební mechaniky |

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Petr Obršlík

Název Výpočet únosnosti stropní konstrukce pomocí programu ANSYS

Vedoucí bakalářské práce Ing. Jarmila Křiváková, CSc.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2011

Datum odevzdání bakalářské práce 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

.....
prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- Kolář, V., Němec, I., Kanický, V., FEM - Principy a praxe metody konečných prvků. Vydavatelství Computer Press, 1997
- Teory Reference - Ansys rarse 11.0
- ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí
- ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí

Zásady pro vypracování

Vytvořit model stropní konstrukce pro výpočet metodou konečných prvků pomocí programu ANSYS. Provést výpočet této konstrukce, provést kontrolu správnosti a vhodnosti vytvořeného modelu, vybrat nejvíce namáhané oblasti a navrhnout vhodné úpravy konstrukce tak, aby vyhověla požadavkům na ni kladeným.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
Ing. Jarmila Křiváková, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Stěžejní částí je vytvoření konečně prvkového modelu zadané stropní konstrukce pomocí výpočtového programu ANSYS a posouzení napětí a průhybů dle mezních normových hodnot. K ověření správnosti výsledků se použije ruční statický výpočet napětí a průhybů nosných prvků konstrukce za použití metody třímomentových rovnic a Mohrovy analogie pro výpočet průhybu.

KLÍČOVÁ SLOVA

ANSYS, metoda konečných prvků, napětí, průhyb, stropní konstrukce, metoda třímomentových rovnic, Mohrova analogie, zatížení, ocelový válcovaný profil

ABSTRACT

The central part is the creation of a finite element model of the specified ceiling construct by using calculating program ANSYS and assessment of stress and displacement in the limit normative values. To verify the accuracy of the results is applied manual static calculation of stress and deflection carrying structure elements using the Clapeyron's method and Mohr's analogy for the calculation of deflection.

KEYWORDS

ANSYS, finite element method, stress, deflection, ceiling construct, Clapeyron's method, Mohr's analogy, load, steel rolled profile

Bibliografická citace VŠKP

OBRŠLÍK, Petr. *Výpočet únosnosti stropní konstrukce pomocí programu ANSYS*. Brno, 2012. 61 s., 10 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Jarmila Křiváková, CSc..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 19.5.2012

.....
podpis autora

Poděkování:

Děkuji vedoucí práce Ing. Jarmile Křivákové, CSc. za svůj čas a odborné rady, které mi poskytla a které mi pomohly při zpracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Aleši Nevařilovi, Ph.D. za vedení praktických přednášek o programu ANSYS.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK | 3 |
| 1 ÚVOD A CÍL PRÁCE | 5 |
| 1.1 Úvod | 5 |
| 1.2 Cíl práce..... | 6 |
| 2 POPIS KONSTRUKCE A POUŽITÝCH MATERIÁLŮ..... | 7 |
| 2.1 Skladby a vlastnosti materiálů | 8 |
| 3 VÝPOČET ZATÍŽENÍ NA NOSNÍKY I 180..... | 10 |
| 3.1 Zatížení stálé..... | 10 |
| 3.1.1 Zatížení stálé od stropní konstrukce | 10 |
| 3.1.2 Zatížení ostatní stálé - od podlahy..... | 10 |
| 3.2 Zatížení proměnné (nahodilé)..... | 11 |
| 3.3 Kombinace zatížení | 12 |
| 3.3.1 Mezní stav únosnosti (MSÚ)..... | 12 |
| 3.3.2 Mezní stav použitelnosti (MSP)..... | 12 |
| 4 VÝPOČET A POSOUZENÍ MAXIMÁLNÍHO OHYBOVÉHO MOMENTU NA NOSNÍKU I 180..... | 13 |
| 4.1 Zjištění nadpodporového momentu na spojitém nosníku pomocí metody třímomentových rovnic | 13 |
| 5 VÝPOČET ZATÍŽENÍ NA PRŮVLAK | 17 |
| 5.1 Geometrické a průřezové charakteristiky průvlaku | 17 |
| 5.2 Zatížení na průvlak 2xU 220 | 19 |
| 6 VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO OHYBOVÉHO MOMENTU A POSOUZENÍ NAPĚTÍ NA PRŮVLAKU | 22 |
| 7 VÝPOČET PRŮHYBU..... | 26 |
| 7.1 Výpočet průhybu pomocí Mohrovy metody | 26 |
| 8 VÝPOČET POMOCÍ PROGRAMU ANSYS | 30 |
| 8.1 Stručná historie ANSYSU | 30 |
| 8.2 Základní myšlenka..... | 30 |
| 9 TVORBA MKP MODELU | 31 |
| 9.1 Popis konstrukce a modelu | 31 |
| 9.2 Element typu SOLID 185 | 31 |
| 9.3 Postup modelování ve výpočtovém programu ANSYS | 32 |
| 9.3.1 Zadání bodů (keypoints) do globálního kartézského souřadnicového systému. | 33 |
| 9.3.2 Spojení bodů (keypoints) v úsečky (lines) | 34 |
| 9.3.3 Nastavení dělení (meshing) úseček | 34 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 9.3.4 | Vytvoření ploch (areas) | 35 |
| 9.3.5 | Protažení ploch podél úseček do prostoru - vznik objemů (volumes) | 37 |
| 9.3.6 | Rozdělení objemů na elementy podle úseček se zadaným dělením..... | 37 |
| 9.3.7 | Zkopírování prvků - vytvoření stropní konstrukce | 38 |
| 9.4 | Zadání uložení a zatížení | 40 |
| 9.4.1 | Zadání okrajových podmínek..... | 40 |
| 9.4.2 | Zadání zatížení na mezní stav použitelnosti..... | 42 |
| 9.4.3 | Zadání zatížení na mezní stav únosnosti | 44 |
| 9.4.4 | Výpočet | 45 |
| 10 | VÝSLEDKY - (POSTPROCESSING) | 46 |
| 10.1 | Normálové napětí na mezní stav únosnosti | 47 |
| 10.1.1 | Nosník I180 | 47 |
| 10.1.2 | Průvlak 2xU 220..... | 48 |
| 10.2 | Normálové napětí na mezní stav použitelnosti | 50 |
| 10.2.1 | Průvlak 2xU 220..... | 50 |
| 10.3 | Deformace (průhyb) na mezní stav použitelnosti | 51 |
| 10.3.1 | Průhyb na nejvíce namáhaném nosníku I 180..... | 52 |
| 10.3.2 | Maximální průhyb na průvlaku 2xU 220 | 53 |
| 11 | KONTROLA VÝSLEDKŮ | 54 |
| 11.1 | Průvlak 2xU220 | 54 |
| 11.1.1 | Srovnání napětí - Mezní stav únosnosti | 54 |
| 11.1.2 | Srovnání napětí - Mezní stav použitelnosti | 54 |
| 11.1.3 | Srovnání průhybu - Mezní stav použitelnosti | 54 |
| 12 | ZÁVĚR..... | 55 |
| 12.1 | Nosník I 180..... | 55 |
| 12.1.1 | Napětí - mezní stav únosnosti | 55 |
| 12.1.2 | Průhyb - mezní stav použitelnosti | 55 |
| 12.2 | Průvlak 2xU 220 | 56 |
| 12.2.1 | Napětí - mezní stav únosnosti | 56 |
| 12.2.2 | Průhyb - mezní stav použitelnosti | 56 |
| | SEZNAM ZKRATEK..... | 57 |
| | POUŽITÁ LITERATURA | 59 |
| | PŘÍLOHY | 61 |

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků:

- Obrázek č. 1 - Půdorys stropní konstrukce*
- Obrázek č. 2 - Detail stropní konstrukce*
- Obrázek č. 3 - Skladba podlahy*
- Obrázek č. 4 - Geometrie I180*
- Obrázek č. 5 - Statické schéma spojitého nosníku*
- Obrázek č. 6 - Vykreslení vnitřních sil spojitého nosníku*
- Obrázek č. 7 - Geometrie U 220*
- Obrázek č. 8 - Geometrie 2xU 220*
- Obrázek č. 9 - Statické schéma průvlaku a vykreslení vnitřních sil*
- Obrázek č. 10 - Zatěžovací schéma duálního nosníku a vykreslení ohybových momentů*
- Obrázek č. 11 - Nahrazení složitého pole polem jednoduchým, za použití prvků [9]*
- Obrázek č. 12 - Prostorový prvek SOLID 185*
- Obrázek č. 13 - Body (Keypoints) I180*
- Obrázek č. 14 - Úsečky (Lines) I 180*
- Obrázek č. 15 - Rozdělení úseček (Meshed lines) I180*
- Obrázek č. 16 - Plochy (Areas) I 180*
- Obrázek č. 17 - Průsečík dvou hran průřezů - I 180 a 2xU 220*
- Obrázek č. 18 - Prvky SOLID 185 - Střet „I“ nosníku s průvlakem*
- Obrázek č. 19 - Prvky SOLID 185 - Celý nosník „I“ profilu s částí průvlaku*
- Obrázek č. 20 - MKP model celé stropní konstrukce*
- Obrázek č. 21 - Detail MKP modelu stropní konstrukce*
- Obrázek č. 22 - Okrajové podmínky celé stropní konstrukce*
- Obrázek č. 23 - Detail umístění okrajových podmínek - prosté uložení*
- Obrázek č. 24 - Zatížení na celou stropní konstrukci*
- Obrázek č. 25 - Detail: okrajové podmínky + zatížení na uzly*
- Obrázek č. 26 - Detail: okrajové podmínky + zatížení na uzly + gravitace*
- Obrázek č. 27 - Normálové napětí na nejvíce namáhaném nosníku od ZS 1*
- Obrázek č. 28 - Normálové napětí na nejvíce namáhaném nosníku od ZS 2*
- Obrázek č. 29 - Normálové napětí od ZS1 na průvlak - detail*
- Obrázek č. 30 - Normálové napětí od ZS2 na průvlak - detail*

Obrázek č. 31 - Normálové napětí na průvlaku 2xU 220

Obrázek č. 32 - Normálové napětí na průvlaku 2xU 220 - detail střední části průvlaku

Obrázek č. 33 - Průhyb ve směru globální osy Y na celé konstrukci

Obrázek č. 34 - Maximální průhyb ve směru globální osy Y na nosníku I180

Obrázek č. 35 - Maximální průhyb ve směru globální osy Y na průvlaku 2xU 220

Seznam tabulek:

Tabulka č. 1 - Objemová hmotnost použitých materiálů [4]

Tabulka č. 2 - Výpočet zatížení od stropní konstrukce

Tabulka č. 3 - Výpočet zatížení od podlahy

Tabulka č. 4 - Geometrie I 180

Tabulka č. 5 - Průřezové veličiny I 180

Tabulka č. 6 - Geometrie U 220

Tabulka č. 7 - Průřezové veličiny U 220

Tabulka č. 8 - Geometrie 2xU 220

Tabulka č. 9 - Průřezové veličiny 2xU 220

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

1.1 Úvod

Posudek je prováděn na stropním systému HURDIS za použití ocelových válcovaných „I“ nosníků v osových vzdálenostech 1200 mm a šikmých stropních desek CSD HURDIS II. Tento systém byl pro svoji jednoduchost a rychlost montáže velmi oblíbený. Byl používán především na stropy menších rozpětí, zvláště na výstavbu rodinných domů a bytových jednotek. Mezi hlavní výhody patří nízká hmotnost desek. Není tedy nutno použití těžké strojní techniky. Tím se prokazatelně sníží celková cena konstrukce. Mezi další výhody patří poměrně dobré tepelně i zvukově izolační vlastnosti. I přes značný úbytek použití desek HURDIS, způsobený zhroucením několika stropů před rokem 1998, jsou stále používány. Ve větší míře jsou však nahrazovány nosníky POT a stropními vložkami CSV MIAKO. Bylo zjištěno, že hlavní příčinou poruch byla nevhodně zvolená horní vrstva betonové mazaniny (teplotní roztažnost jiná než u keramické desky), špatné provedení konstrukce (absence malty u patek či na nosnících). [1]

Všechny použité prvky a skladba stropního systému byly navrženy a převzaty od výrobce HURDIS v souladu s Technickou příručkou pro projektanty a stavitele. Pro větší únosnost a stabilitu stropu byla konstrukce podepřena průvlakem ze dvou k sobě přivařených ocelových nosníků profilu „U“. Umístění průvlaku je dáno dispozičními požadavky. Tato konstrukce bude posuzována dle vymezení účelu stavby na užité zatížení pro obytné budovy.

Konstrukce je posuzována na napětí a průhyb. Největší průhyb je v místě maximálního namáhání – střed stropní konstrukce.

Pro statickou analýzu posuzovaného stropu byl použit program ANSYS, který řeší konstrukce metodou konečných prvků. V programu byl vytvořený konečně prvkový model, jenž byl zatížen vlastní tíhou konstrukce a podlahy a nahodilým zatížením pro obytné budovy. Stropní konstrukce je uvažována jako nosníkový rošt, který je prostě uložen.

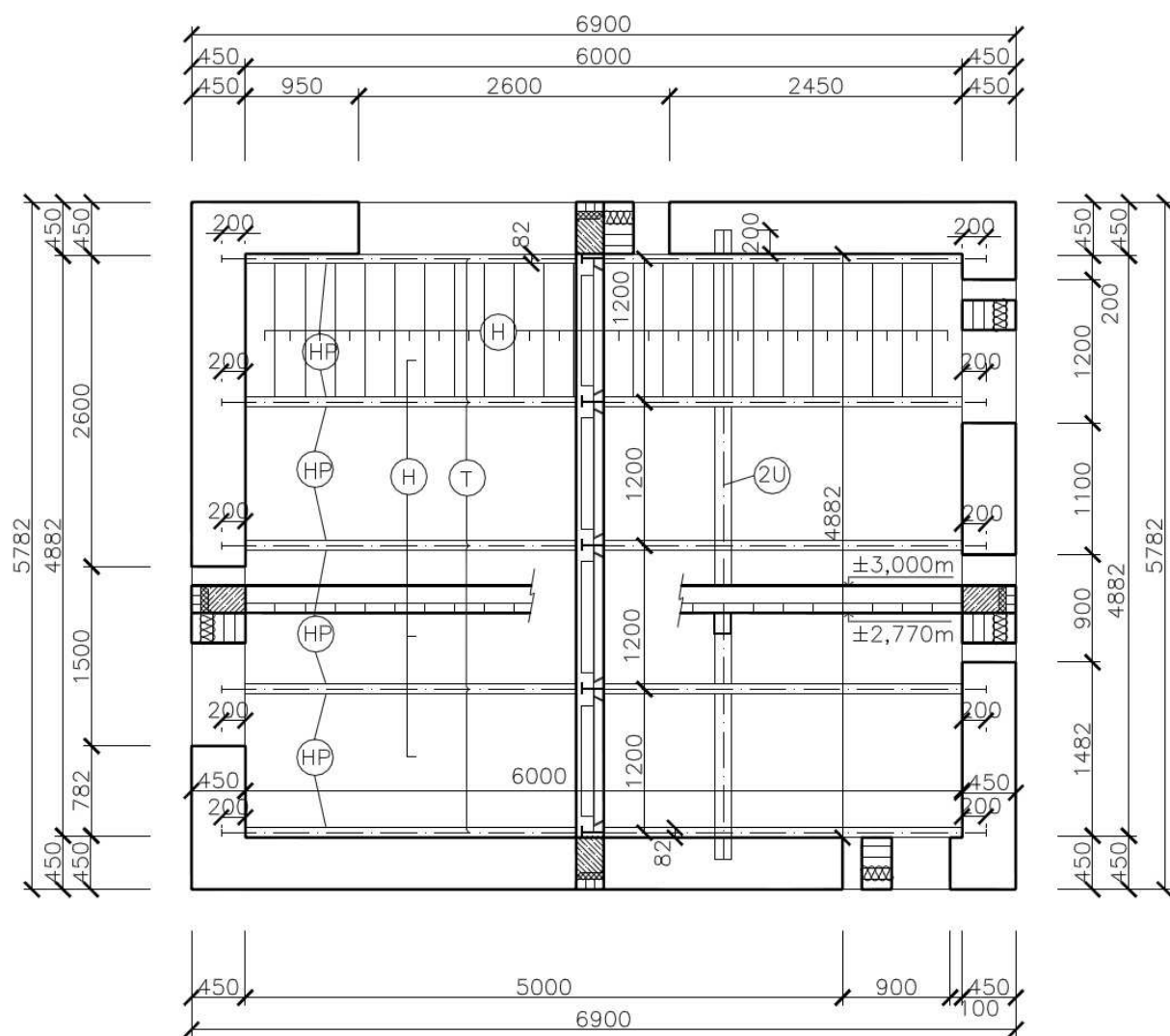
1.2 Cíl práce

Cílem této práce je vytvořit v prostředí ANSYSu konečně prvkový model řešené stropní konstrukce a jeho verifikaci jednoduchým ručním výpočtem. Pro toto ověření jsou ručním statickým výpočtem získány hodnoty extrémů napětí a průhybu jednotlivých nejnamáhanějších prvků konstrukce. Jejich hodnoty jsou následně porovnány s výsledky dosaženými programem ANSYS.

Extrémní hodnoty napětí a průhybu jsou v závěru práce vyhodnoceny a posouzeny v souladu s platnými normami.

2 POPIS KONSTRUKCE A POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

Stropní vodorovná konstrukce, o ploše 6,000 x 4,882 m, dělí po výšce objekt na jednotlivá podlaží. Mimo funkce statické musí splňovat i další požadavky - protipožární, tepelné a akustické. Skládá se z nosné konstrukce stropu a z podlahové konstrukce. Nosná konstrukce je složena z pěti rovnoběžných nosníků průřezu I 180, s osovou vzdáleností 1200mm, na které jsou příčně naskládány keramické desky CSD HURDIS - II se šikmými čely o rozměrech 80 x 250 x 1080 mm (v; š; d). Keramické desky se ukládají přes maltové lože na patky, které jsou osazeny opět do maltového lože na spodní pásnice ocelových „I“ nosníků, viz. detail stropní konstrukce (obr. č. 2). Ocelové nosníky jsou uloženy na stěnách do železobetonového pozednicového věnce. Minimální délka uložení ocelových nosníků je 150 mm - zvoleno 200 mm na stranu bezpečnou.



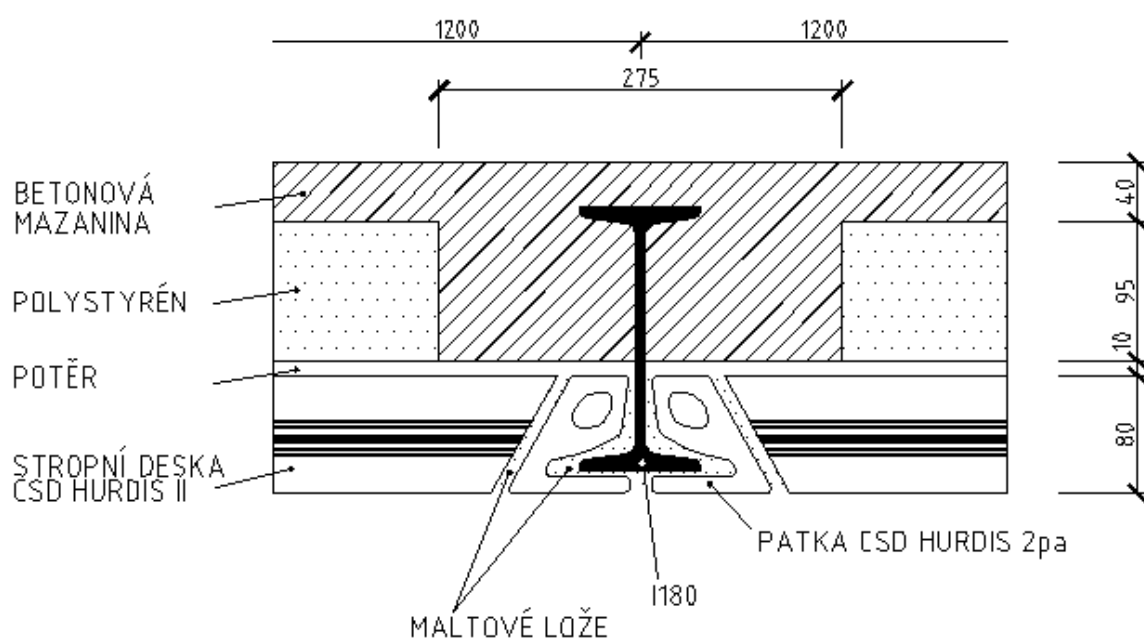
Obrázek č. 1 - Půdorys stropní konstrukce

Legenda k obrázku č. 1:

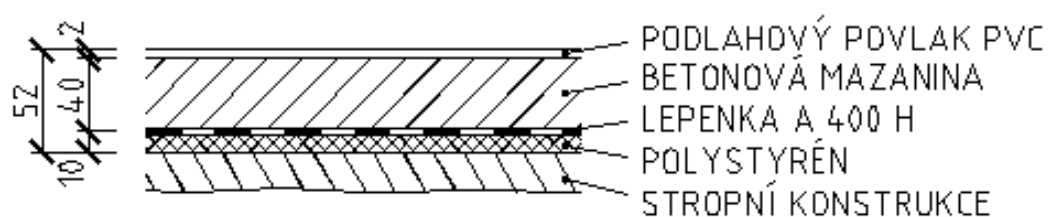
- T - nosníky I 180
- 2U - průvlak profilu 2xU 220
- H - keramické desky CSD HURDIS - II (šikmá čela) 80 x 250 x 1080 mm (v; š; d)
- HP - keramická patka 240 x 84 x 80 mm

2.1 Skladby a vlastnosti materiálů

Skladby podlah a stropní konstrukce jsou převzaty z Technické příručky pro projektanty a stavitele, kde jsou výrobcem doporučeny dimenze prvků a rozměry vrstev, dle délky světlych rozpětí. [3]



Obrázek č. 2 - Detail stropní konstrukce



Obrázek č. 3 - Skladba podlahy

Níže uvedená tabulka zobrazuje objemovou hmotnost materiálů, která je použita u výpočtu stálého zatížení.

| TYP MATERIÁLU | OBJEMOVÁ HMOTNOST [kg/m ³] |
|-------------------|--|
| Ocel „I180“ | 7850,00 |
| Betonová mazanina | 2400,00 |
| Polystyrén | 25,00 |
| Cementový potěr | 2100,00 |
| Maltové lože | 1600,00 |
| Deska HURDIS II | 14kg/ks |
| Patka | 1,3kg/ks |
| PVC | 1300,00 |
| Lepenka A - 400H | 900,00 |

Tabulka č. 1 - Objemová hmotnost použitých materiálů [4]

3 VÝPOČET ZATÍŽENÍ NA NOSNÍKY I 180

Výpočet zatížení je proveden dle platné normy ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Veškeré průřezové charakteristiky válcovaných profilů jsou přebrány z platných tabulek. Stanovení intenzity zatížení je zahrnuto v následujících tabulkách.

3.1 Zatížení stálé

Zatížení stálé je prezentováno vlastní tíhou stavebních prvků, která je vyjádřena na základě jejich rozměrů a objemových tíh uváděných v normě.

3.1.1 Zatížení stálé od stropní konstrukce

| TYP | OBJEMOVÁ TÍHA [kN/m ³] | TLOUŠŤKA [m] | ROZPĚTÍ [m] | g ₀ [kN/m] |
|--------------------------|---------------------------------------|---|----------------|--------------------------|
| I 180 | 78,5000 | plocha = 2,79018x10 ⁻³ m ⁻² | | 0,2190 |
| Betonová mazanina | 24,0000 | 0,0400 | 1,2000 | 1,1520 |
| | 24,0000 | 0,0950 | 0,2750 | 0,6270 |
| Polystyrén | 0,2500 | 0,0950 | (1,2-0,275) | 0,0220 |
| Cementový potěr | 21,0000 | 0,0100 | 1,2000 | 0,2520 |
| Maltové lože | 16,0000 | 4*0,0090 | 0,0810 | 0,0467 |
| Deska HURDIS II | 14kg/ks | do 1m => 4ks => 56kg/m | | 0,5600 |
| Patka | 1,3kg/ks | 5,7ks/1m ² | 1,2000 | 0,0889 |

$\Sigma g_0 = 2,9676$
kN/m

Tabulka č. 2 - Výpočet zatížení od stropní konstrukce

3.1.2 Zatížení ostatní stálé - od podlahy

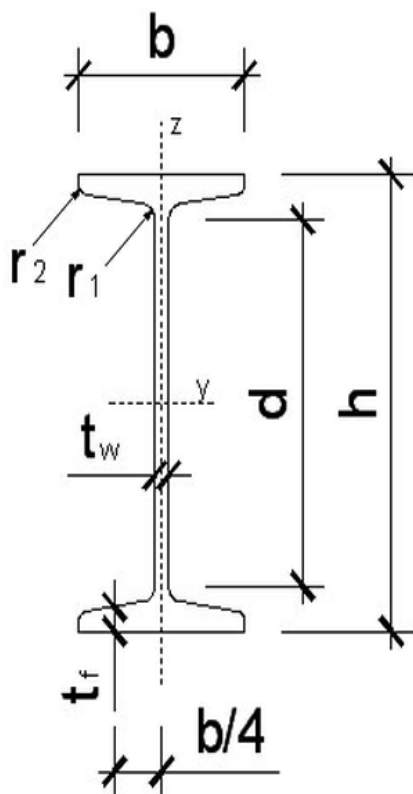
| TYP | OBJEMOVÁ TÍHA [kN/m ³] | TLOUŠŤKA [m] | ROZPĚTÍ [m] | g ₀ [kN/m] |
|--------------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------|
| PVC | 13,0000 | 0,0020 | 1,2000 | 0,0312 |
| Betonová mazanina | 24,0000 | 0,0400 | 1,2000 | 1,1520 |
| Lepenka A - 400H | 9,0000 | 0,0007 | 1,2000 | 0,0076 |
| Polystyrén | 0,2500 | 0,0100 | 1,2000 | 0,0030 |

$\Sigma g_1 = 1,1938$
kN/m

Tabulka č. 3 - Výpočet zatížení od podlahy

Geometrické a průřezové charakteristiky I180:

Geometrie:



| | Hmotnost | Rozměry | | | | | |
|--------------|----------|---------|----|----------------|----------------|--------------------------------|-------|
| | G | h | b | t _w | t _f | r ₁ /r ₂ | d |
| | kg/m | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| násobek | | | | | | | |
| I 180 | 21,9 | 180 | 82 | 6,9 | 10,4 | 6,9/4,1 | 142,4 |

Tabulka č. 4 - Geometrie I 180

Průřezové charakteristiky:

| | Průřezové charakteristiky | | | | |
|--------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | A | I _y | W _y | I _z | W _z |
| | mm ² | mm ⁴ | mm ³ | mm ⁴ | mm ³ |
| násobek | 10 ³ | 10 ⁶ | 10 ³ | 10 ⁶ | 10 ³ |
| I 180 | 2,790 | 14,40 | 160 | 0,812 | 19,8 |

Tabulka č. 5 - Průřezové charakteristiky I 180

Obrázek č. 4 - Geometrie I 180

Legenda k Tabulkám č. 4; č. 5

A - průřezový obsah [mm²]

I_y; I_z - kvadratický moment (moment setrvačnosti průřezu rovnoběžný s globální osou y; z) [mm⁴]

W_y; W_z - průřezový modul rovnoběžný s globální osou y; z [mm³]

3.2 Zatížení proměnné (nahodilé)

Za proměnné zatížení je považováno zatížení užité, které se určí dle stanovených použití a kategorie ploch pozemních staveb. Pro obytné budovy platí:

$$q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2 \quad \text{kategorie A}$$

$$q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2 * 1,2 \text{ m} = 1,8 \text{ kN/m}$$

3.3 Kombinace zatížení

3.3.1 Mezní stav únosnosti (MSÚ)

Pro posouzení MSÚ lze použít vztahu (6.10) z normy.

$$\sum \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \sum \gamma_{G,i} * G_{k,i} + \sum \gamma_{q,k} * Q_k \quad (3.1)$$

Dosazeno do vztahu (3.1):

$$1,35 * 2,9676 + 1,35 * 1,1938 + 1,5 * 1,8 = 8,3179 \text{ kN/m}$$

Rovnoměrně spojitě zatížení je dále použito pro posouzení únosnosti ocelového nosníku „I“ profilu.

$$g_{MSU} = 8,3179 \text{ kN/m}$$

Ve vztahu značí:

| | |
|--|--|
| $\gamma_{G,j} = 1,35$ | ... součinitel stálého zatížení |
| $\gamma_{q,k} = 1,5$ | ... součinitel proměnného zatížení |
| $G_{k,j} = \sum g_0 = 2,9676 \text{ kN/m}$ | ... zatížení stálé - od stropní konstrukce |
| $G_{k,i} = \sum g_1 = 1,1938 \text{ kN/m}$ | ... zatížení stálé - od podlahy |
| $Q_k = q_k = 1,8 \text{ kN/m}$ | ... zatížení proměnné - užité |

3.3.2 Mezní stav použitelnosti (MSP)

Zatížení pro MSP se chápe jako součet všech zatížení stálých a proměnných.

$$g_{MSP} = \sum G_o + \sum G_I + \sum Q \quad (3.2)$$

Dosazeno do (3.2):

$$g_{MSP} = 2,9676 + 1,1938 + 1,8 = 5,9614 \text{ kN/m}$$

Rovnoměrně spojitě zatížení je dále použito pro posouzení použitelnosti (průhybu) ocelového nosníku „I“ profilu.

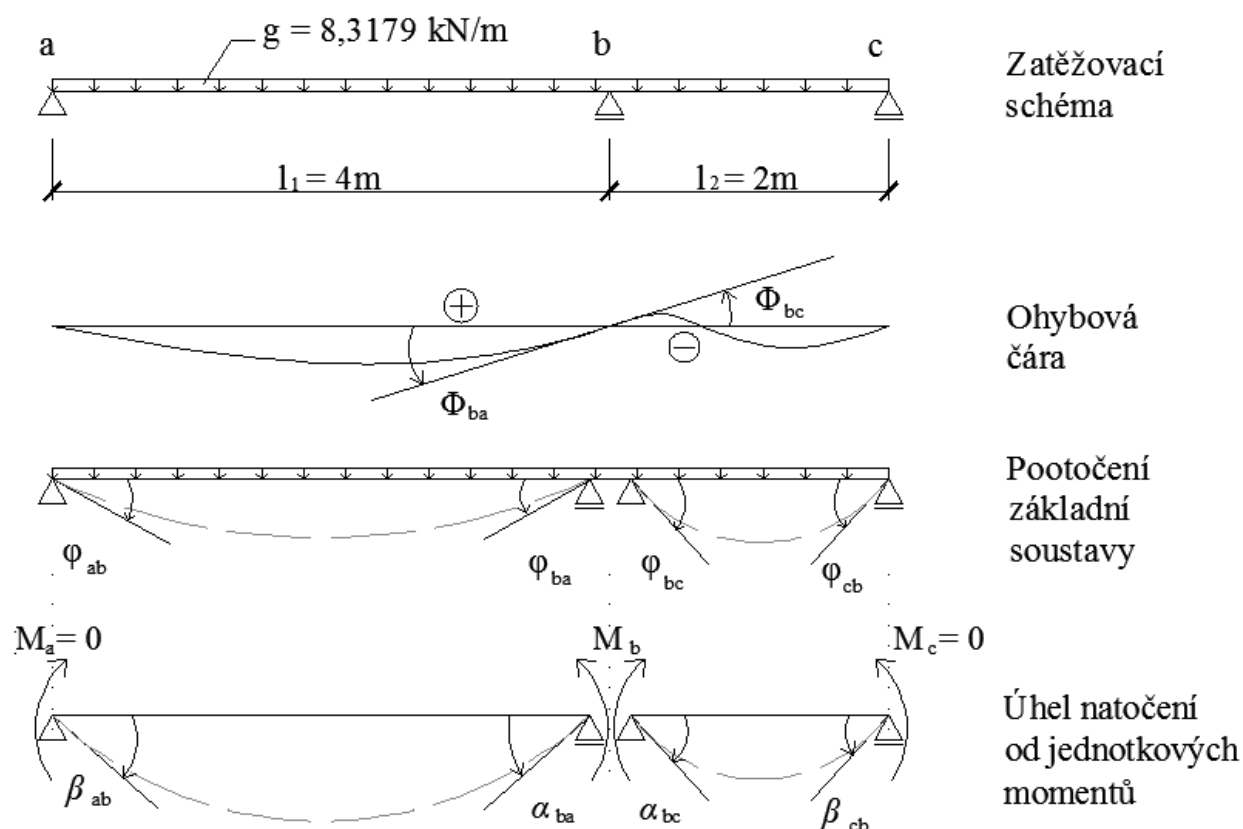
$$g_{MSP} = 5,9614 \text{ kN/m}$$

4 VÝPOČET A POSOUZENÍ MAXIMÁLNÍHO OHYBOVÉHO MOMENTU NA NOSNÍKU I 180

4.1 Zjištění nadpodporového momentu na spojitém nosníku pomocí metody třímomentových rovnic

Ocelový nosník profilu „I“ je uložený do pozednicového věnce a podepřený průvzlakem tvořeným dvěma k sobě přivařenými „U“ profily. Jako statickým modelem je spojitý nosník vykreslený na obrázku č. 5.

K výpočtu nadpodporového momentu byla použita metoda třímomentových rovnic (Clapeyronova metoda)



Obrázek č. 5 - Statické schéma spojitého nosníku

U prutů s konstantním průřezem jsou dány úhly natočení od jednotkových momentů:

$$\alpha_{ba} = \frac{l_1}{3EI} \qquad \alpha_{bc} = \frac{l_2}{3EI} \qquad (4.1)$$

$$\beta_{ab} = \frac{l_1}{6EI} \qquad \beta_{cb} = \frac{l_2}{6EI} \qquad (4.2)$$

Dosazeno do vztahů (4.1) a (4.2)

$$\alpha_{ba} = \frac{4}{3EI} \qquad \alpha_{bc} = \frac{2}{3EI}$$

$$\beta_{ab} = \frac{4}{6EI} \qquad \beta_{cb} = \frac{2}{6EI}$$

Výpočet skutečných pootočení dle Statických tabulek

$$\varphi_{ba} = \frac{1}{24} * \frac{8 * l_1^3}{E * I} \qquad (4.3)$$

Dosazeno do vztahu (4.3)

$$\varphi_{ba} = \frac{1}{24} * \frac{8,3179 * 4^3}{E * I} = \frac{22,1811}{E * I}$$

$$\varphi_{bc} = \frac{1}{24} * \frac{8,3179 * 2^3}{E * I} = \frac{2,7726}{E * I}$$

Deformační podmínka:

$$\Phi_{ba} = - \Phi_{bc} \qquad (4.4)$$

Obecný tvar třímomentové rovnice (Clapeyronova rovnice):

$$\beta_{ab} * M_a + (\alpha_{ba} + \alpha_{bc}) * M_b + \beta_{cb} * M_c + \varphi_{ba} + \varphi_{bc} = 0 \qquad (4.5)$$

Dosazením do vztahu (4.5):

$$\frac{4}{6EI} * 0 + \left(\frac{4}{3EI} + \frac{2}{3EI} \right) * M_b + \frac{2}{6EI} * M_c + \frac{22,1811}{E * I} + \frac{2,7726}{E * I} = 0$$

$$\left(\frac{6}{3EI} \right) * M_b = - \frac{24,9537}{E * I}$$

Odtud:

$$M_b = - 12,4769 \text{ kNm} = M_{Ed}$$

Ve vztahu (4.5) značí:

M_a, M_b, M_c ... nadpodporové momenty

$E = 2,1E11 \text{ Pa}$... modul pružnosti oceli

$I = 1,44E-05 \text{ m}^4$... kvadratický moment

EI ... ohybová tuhost

Výpočet podporových reakcí z momentových podmínek rovnováhy:

$$M_b = R_{yc} * 2 - g * \frac{2^2}{2} \quad (4.6)$$

$$-M_b = -R_{ya} * 4 + g * \frac{4^2}{2} \quad (4.7)$$

Dosazeno do vztahu (4.6):

$$-12,4769 = R_{yc} * 2 - 8,3179 * 2 \quad \Rightarrow R_{yc} = 2,0795 \text{ kN}$$

Dosazeno do vztahu (4.7):

$$12,4769 = -R_{ya} * 4 + 8,3179 * 4 \quad \Rightarrow R_{ya} = 13,5166 \text{ kN}$$

Výpočet podporové reakce ze součtové silové podmínky rovnováhy:

$$R_{ya} + R_{yb} + R_{yc} = g * L \quad (4.8)$$

Dosazeno do vztahu (4.8):

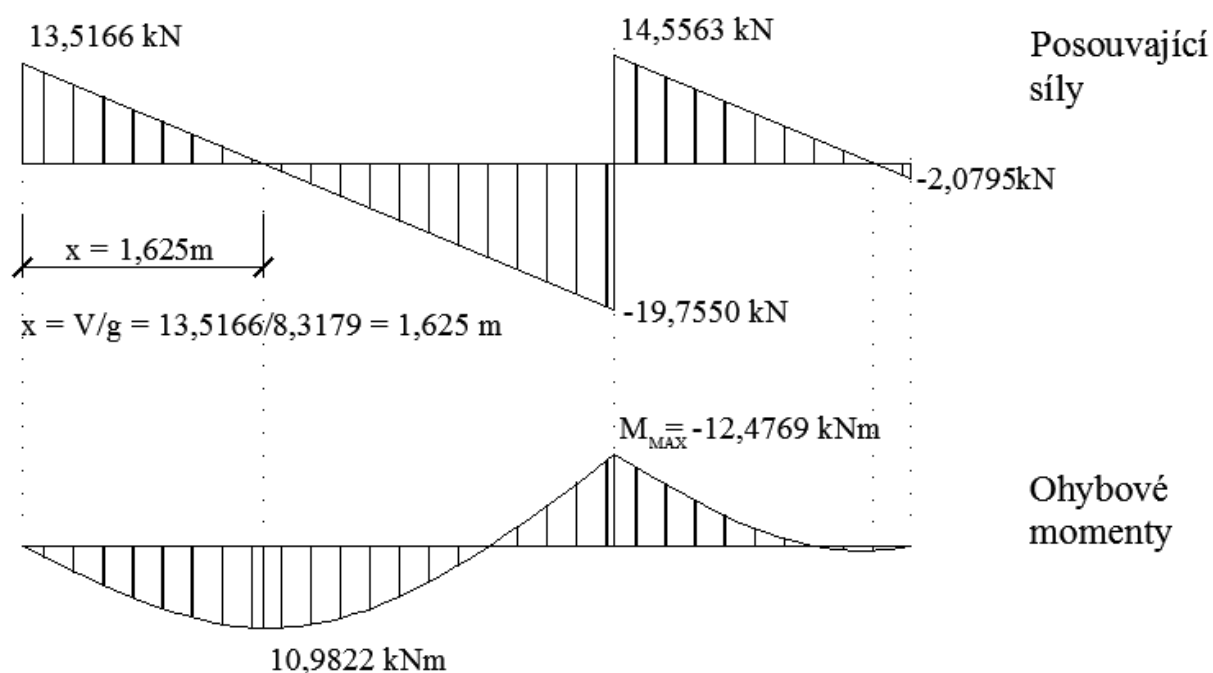
$$13,5166 + R_{yb} + 2,0795 = 8,3179 * (4 + 2) \quad \Rightarrow R_{yb} = 34,3113 \text{ kN}$$

Ve vztazích (4.6) - (4.8) značí:

R_{ya} ... svislá reakce v podpoře „a“

R_{yb} ... svislá reakce v podpoře „b“

R_{yc} ... svislá reakce v podpoře „c“



Obrázek č. 6 - Vykreslení vnitřních sil spojitého nosníku

Výpočet mezního ohybového momentu únosnosti:

$$M_{Rd} = (W_y * f_{yd}) / \gamma_{M0} \quad (4.9)$$

Dosazeno do vztahu (4.9):

$$M_{Rd} = (1,60 * 10^{-4} * 235 * 10^6) / 1,0 = 37600 \text{ Nm} = 37,6000 \text{ kNm}$$

Ve vztahu (4.9) značí:

$\gamma_{M0} = 1,0$... dílčí součinitel spolehlivosti materiálu

$W_y = 1,60 * 10^{-4} \text{ m}^3$... průřezový modul

$f_{yd} = 235 * 10^6 \text{ Pa}$... mez kluzu oceli

Maximální ohybový moment:

$$M_{Ed} = 12,4769 \text{ kNm}$$

Posouzení momentové únosnosti dle platné normy ČSN EN 1993-1-1 (731401)
Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. [5]

Podmínka pro prvky namáhané ohybem:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} \quad (4.10)$$

$$\text{Odtud:} \quad \underline{37,6000 \text{ kNm} \geq 12,4769 \text{ kNm}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Výpočet napětí:

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (4.11)$$

Dosazením do vztahu (4.11):

$$\sigma = \frac{12,4769 * 10^3}{1,60 * 10^{-4}} = 77980625 \text{ Pa} = 77,9806 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí:

$$\sigma \leq f_{yd} \quad (4.12)$$

$$\text{Odtud:} \quad \underline{77,981 \text{ MPa} \leq 235,000 \text{ MPa}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

σ ... maximální napětí

$f_{yd} = 235 * 10^6 \text{ Pa}$... mez kluzu oceli

5 VÝPOČET ZATÍŽENÍ NA PRŮVLAK

5.1 Geometrické a průřezové charakteristiky průvlaku

Geometrie U 220:

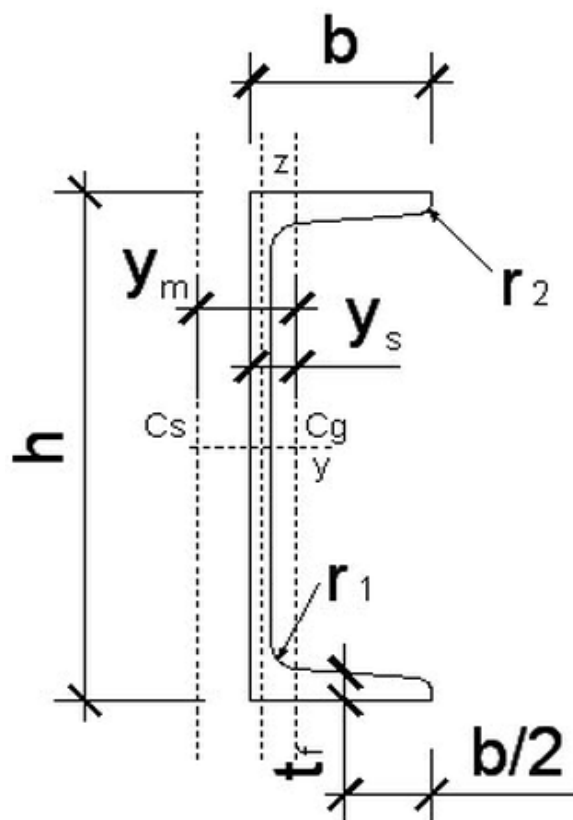
| | Hmotnost | Rozměry | | | | | | |
|--------------|----------|---------|----|----------------|----------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|
| | G | h | b | t _w | t _f | r ₁ /r ₂ | d | y _s /y _m |
| | kg/m | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| násobek | | | | | | | | |
| U 220 | 29,40 | 220 | 80 | 9,0 | 12,5 | 13,0/6,5 | 167,0 | 21,4/42,0 |

Tabulka č. 6 - Geometrie U 220

Průřezové charakteristiky U 220:

| | Průřezové charakteristiky | | | | |
|--------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | A | I _y | W _y | I _z | W _z |
| | mm ² | mm ⁴ | mm ³ | mm ⁴ | mm ³ |
| násobek | 10 ³ | 10 ⁶ | 10 ³ | 10 ⁶ | 10 ³ |
| U 220 | 3,742 | 26,90 | 245 | 1,97 | 33,6 |

Tabulka č. 7 - Průřezové charakteristiky U 220



Obrázek č. 7 - Geometrie U 220

Geometrie 2xU 220:

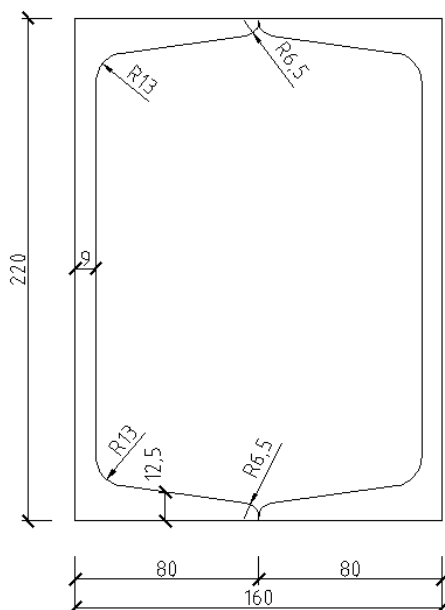
| | Hmotnost | Rozměry | | | | | |
|----------------|----------|---------|-----|----------------|----------------|--------------------------------|-------|
| | G | h | b | t _w | t _f | r ₁ /r ₂ | d |
| | kg/m | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| násobek | | | | | | | |
| 2xU 220 | 58,74 | 220 | 160 | 9,0 | 12,5 | 13,0/6,5 | 167,0 |

Tabulka č. 8 - Geometrie 2xU 220

Průřezové charakteristiky 2xU 220:

| | Průřezové charakteristiky | | | | |
|----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | A | I _y | W _y | I _z | W _z |
| | mm ² | mm ⁴ | mm ³ | mm ⁴ | mm ³ |
| násobek | 10 ³ | 10 ⁶ | 10 ³ | 10 ⁶ | 10 ³ |
| 2xU 220 | 7,483 | 53,8 | 490 | 3,94 | 67,2 |

Tabulka č. 9 - Průřezové charakteristiky 2xU 220



Obrázek č. 8 - Geometrie 2xU 220

Průřezové charakteristiky U 220

$$A = 3,742 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,690 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,450 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Průřezové charakteristiky 2xU 220

$$A = 7,483 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 5,380 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 4,900 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

5.2 Zatížení na průvlak 2xU 220

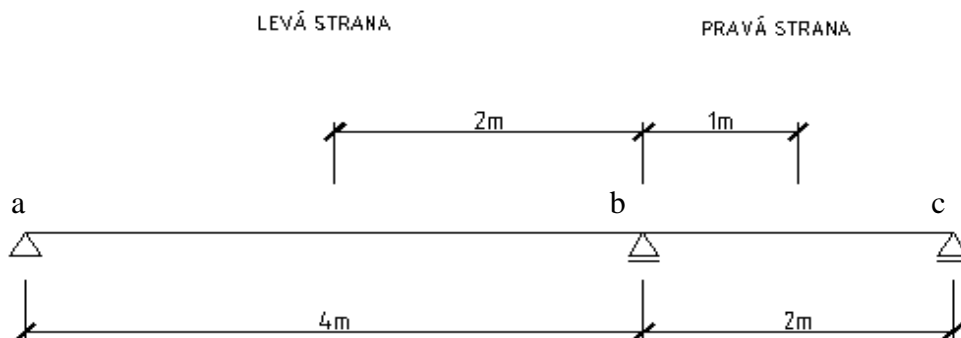
Zatížení na průvlak je přepočítáno ze spojitého rovnoměrného zatížení stálého a proměnného na zatížení bodové - osamělým břemenem, umístěné v osách „I“ nosníků. Bodové zatížení je závislé na spolupůsobící šířce, která je určena jako polovina rozpětí přilehlého pole k podpoře „b“.

Vlastní tíha průvlaku:

$$g_0 = A * \gamma_c \quad (5.1)$$

Dosazeno do (5.1):

$$g_0 = 7,483 * 10^{-3} * 78,500 = 0,5874 \text{ kN/m}$$



Zatížení na podporu „b“:

LEVÁ STRANA

Zatížení od podlahy

$$G_{\text{podL}} = 1,1938 * 2 = 2,3876 \text{ kN}$$

Zatížení od stropní konstrukce

$$G_{\text{stropL}} = 2,9676 * 2 = 5,9352 \text{ kN}$$

Proměnné

$$Q_{\text{KL}} = 1,8000 * 2 = 3,6000 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_L = 11,9228 \text{ kN}$$

PRAVÁ STRANA

$$G_{\text{podP}} = 1,1938 * 1 = 1,1938 \text{ kN}$$

$$G_{\text{stropP}} = 2,9676 * 1 = 2,9676 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{KP}} = 1,8000 * 1 = 1,800 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_P = 5,9614 \text{ kN}$$

Hodnoty na mezní stav použitelnosti

Součet zatížení od spolupůsobící šířky z levé strany a z pravé strany.

$$Q_{MSP} = \sum Q_L + \sum Q_P \quad (5.2)$$

Dosazeno do (5.2):

$$Q_{MSP} = \sum Q_L + \sum Q_P = 11,9228 + 5,9614 = 17,8842 \text{ kN}$$

Hodnoty na mezní stav únosnosti [4]

Pro posouzení mezního stavu únosnosti lze použít vztahu (6.10) z normy.

$$\sum G_0 * \gamma_g + \sum G_1 * \gamma_g + \sum Q * \gamma_q \quad (5.3)$$

LEVÁ STRANA

Dosazeno do (5.3):

$$\sum Q_{LD} = 2,3876 * 1,35 + 5,9352 * 1,35 + 3,6000 * 1,5 = \underline{16,6358 \text{ kN}}$$

PRAVÁ STRANA

Dosazeno do (5.3):

$$\sum Q_{PD} = 1,1938 * 1,35 + 2,9676 * 1,35 + 1,8000 * 1,5 = \underline{8,3179 \text{ kN}}$$

Součet návrhových zatížení od spolupůsobící šířky z levé a pravé strany:

$$Q_{MSU} = \sum Q_{LD} + \sum Q_{PD} \quad (5.4)$$

Dosazeno do (5.4):

$$Q_{MSU} = \sum Q_L + \sum Q_P = 16,6358 + 8,3179 = 24,9537 \text{ kN}$$

Výpočet návrhové hodnoty vlastní tíhy průvlaku pomocí součinitele zatížení:

$$g_{od} = G_0 * \gamma_g \quad (5.5)$$

Dosazeno do (5.4):

$$g_{od} = 0,5874 * 1,35 = 0,7930 \text{ kN/m}$$

Ve vztahu (5.1) - (5.5) značí:

| | |
|--------------------------------|--|
| γ_c | ... objemová tíha oceli |
| $\gamma_g; \gamma_q$ | ... součinitelé zatížení stálého; proměnného |
| A | ... plocha průřezu celého průvlaku |
| g_0 | ... charakteristická hodnota vlastní tíhy průvlaku |
| g_{od} | ... návrhová hodnota vlastní tíhy průvlaku |
| $\Sigma Q_L; \Sigma Q_P$ | ... součet spolupůsobícího zatížení zleva; zprava |
| $\Sigma Q_{LD}; \Sigma Q_{PD}$ | ... součet spolupůsobícího návrhového zatížení zleva; zprava |
| Q_{MSP} | ... osamělá síla působící na průvlak v ose nosníku „I“ pro MSP |
| Q_{MSU} | ... osamělá síla působící na průvlak v ose nosníku „I“ pro MSÚ |

6 VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO OHYBOVÉHO MOMENTU

A POSOUZENÍ NAPĚTÍ NA PRŮVLAKU

Maximální ohybový moment na průvlaku je vypočítán a porovnán s normou za působení návrhového zatížení spočteného v předešlé kapitole 5.2. Zatížení působí osamělými silami v osách „I“ nosníků symetricky na průvlak. Jako statické schéma průvlaku je uvažován prostý nosník.

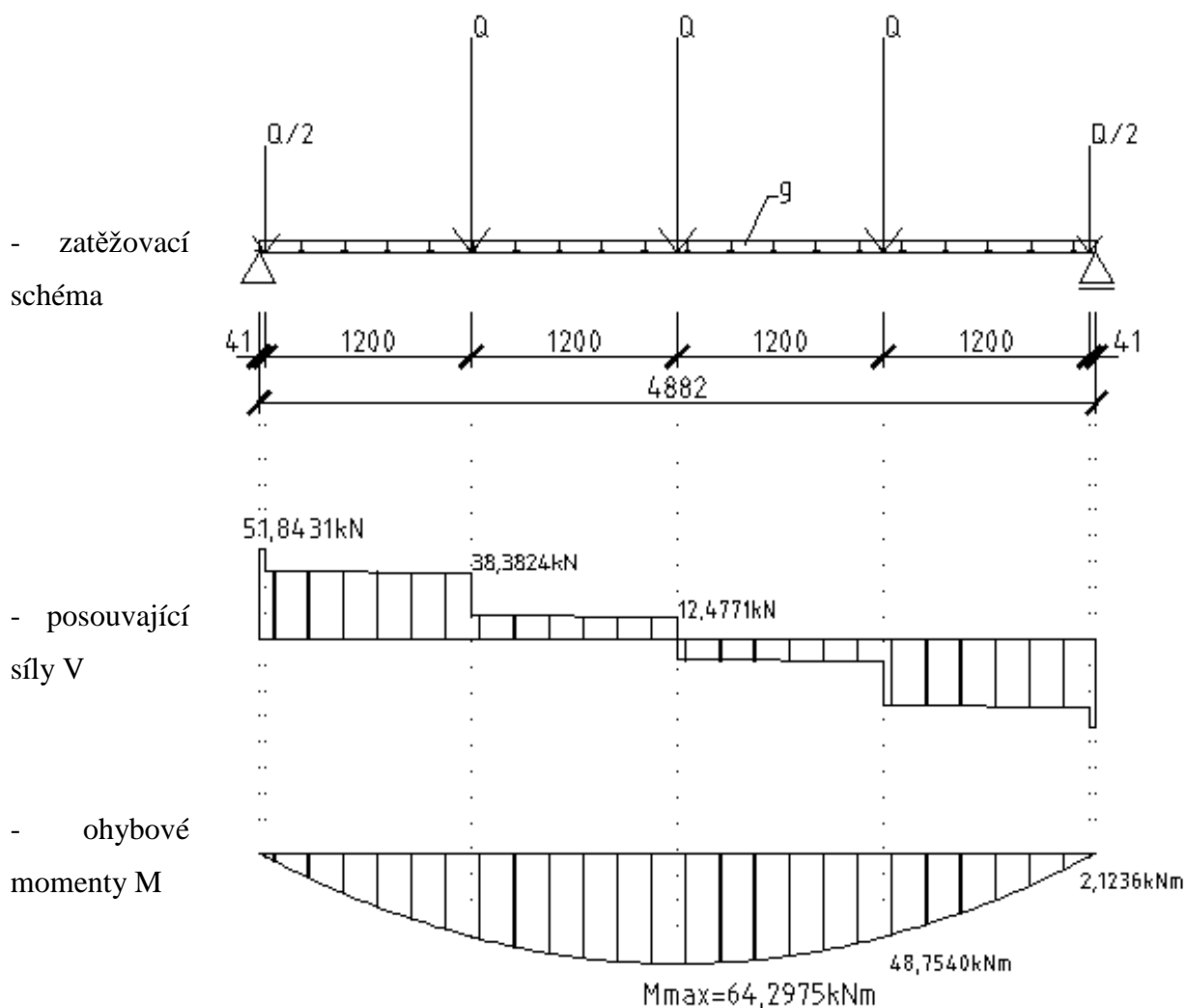
Hodnoty zatížení na průvlak:

$$Q_{MSU} = Q = 24,9537 \text{ kN} \quad \text{viz (5.4)}$$

$$Q/2 = 24,9537 / 2 = 12,4769 \text{ kN} \quad \dots \text{ krajní osamělá síla na průvlak v ose nosníku „I“}$$

$$g_{od} = 0,7930 \text{ kN/m} \quad \dots \text{ návrhová hodnota vlastní tíhy průvlaku}$$

$$G = g_{od} * L = 0,7930 * 4,882 = 3,8714 \text{ kN} \quad \dots \text{ náhradní břemeno}$$



Obrázek č. 9 - Statické schéma průvlaku a vykreslení vnitřních sil

Výpočet podporových reakcí z momentové podmínky rovnováhy:

$$M_a = 0 \quad (6.1)$$

Rozepsán vztah (6.1):

$$R_{yb} * 4,882 - Q/2 * 4,841 - Q * 3,641 - Q * 2,441 - Q * 1,241 - Q/2 * 0,041 - G * 2,441 = 0$$

Vyjádření podporové reakce R_{yb} z rovnice (6.1)

$$R_{yb} = \frac{12,4769 * 4,841 + 24,9537 * 3,641 + 24,9537 * 2,441 + 24,9537 * 1,241 + 12,4769 * 0,041 + 3,8714 * 2,441}{4,882}$$

$$\text{Odtud } \Rightarrow R_{yb} = R_{ya} = 51,8431 \text{ kN}$$

Kontrola pomocí součtové silové podmínky rovnováhy $\Sigma Y = 0$:

$$R_{ya} + R_{yb} = Q + Q + Q + Q/2 + Q/2 + G \quad (6.2)$$

Dosazení do (6.2)

$$\begin{aligned} 51,8431 * 2 &= 4 * 24,9537 + 3,8714 \\ 103,6862 &= 103,6862 \text{ kN} \end{aligned}$$

Výpočet maximálního ohybového momentu v polovině délky rozpětí:

$$\begin{aligned} M_{\text{MAX}} &= R_{ya} * 2,441 - Q/2 * 2,400 - Q * 1,2 - g_{\text{od}} * \frac{2,441^2}{2} = \\ &= 51,8431 * 2,441 - 12,4769 * 2,400 - 24,9537 * 1,2 - \frac{2,441^2}{2} = \mathbf{64,2975 \text{ kNm}} = M_{\text{ED}} \end{aligned}$$

Výpočet mezního ohybového momentu únosnosti:

Dosazeno do vztahu (4.9):

$$M_{\text{Rd}} = (4,90 * 10^{-4} * 235 * 10^6) / 1,0 = 115150 \text{ Nm} = \mathbf{115,1500 \text{ kNm}}$$

Posouzení momentové únosnosti dle platné normy ČSN EN 1993-1-1 (731401) Eurokód 3:

Navrhování ocelových konstrukcí. [5] Podmínka pro prvky namáhané prostým ohybem:

$$M_{\text{Rd}} \geq M_{\text{Ed}} \quad (6.3)$$

$$\text{Odtud:} \quad \mathbf{115,1500 \text{ kNm}} \geq \mathbf{64,2975 \text{ kNm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

Výpočet napětí uprostřed průvlaku - dolní vlákna:

Dosazeno do vztahu (4.11)

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{64,2975 * 10^3}{4,90 * 10^{-4}} = 131219,387 \text{ Pa} = 131,219 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí dle vztahu (4.12)

$$\sigma \leq f_{yd}$$

$$131,219 \text{ MPa} \leq 235,000 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Posouzení napětí na mezní stav použitelnosti

Tento posudek je zaměřen na výpočet napětí stejným způsobem jako v kapitole 6 s tím rozdílem, že hodnoty zatížení nejsou násobeny příslušnými součiniteli. Vypočtené napětí nám bude sloužit dále ve vyhodnocení výsledků a k ověření správnosti hodnot z výpočtového programu.

Zatížení

Osamělá síla: $Q = 17,8842 \text{ kN}$ viz (5.2)

Osamělá síla/2: $Q/2 = 17,8842 / 2 = 8,9421 \text{ kN}$

Vlastní tíha průvlaku: $g_{od} = G_0 * \gamma_g = 0,5874 \text{ kN/m}$

Výpočet podporových reakcí z momentové podmínky rovnováhy, viz (6.1)

$$M_a = 0$$

$$R_{yb} * 4,882 - Q/2 * 4,841 - Q * 3,641 - Q * 2,441 - Q * 1,241 - Q/2 * 0,041 - G * 2,441 = 0$$

Odtud reakce: $R_{yb} = R_{ya} = 37,2023 \text{ kN}$

Výpočet maximálního ohybového momentu:

$$M_{MAX} = R_{ya} * 2,441 - Q/2 * 2,400 - Q * 1,2 - g_{od} * \frac{2,441^2}{2}$$

Moment: $M_{MAX} = 46,1401 \text{ kN/m}$

Výpočet napětí uprostřed prostého nosníku - dolní vlákna, viz (4.11):

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{46,1401 * 10^3}{4,90 * 10^{-4}} = 94,163 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí dle (4.12)

$$\sigma \leq f_{yd}$$

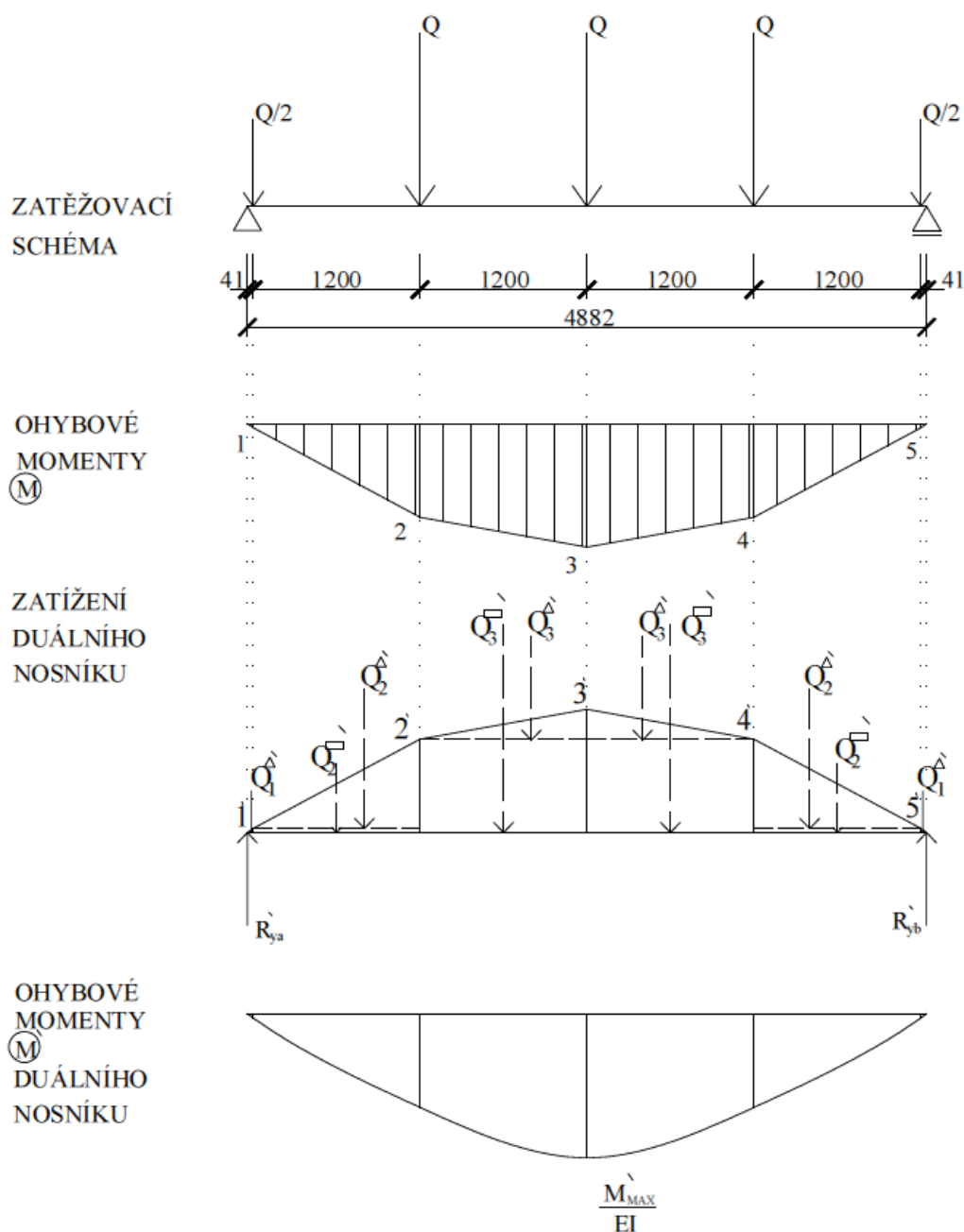
$$94,163 \text{ MPa} \leq 235,000 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

7 VÝPOČET PRŮHYBU

Výpočet průhybu na prostém nosníku je rozdělen do dvou částí. Je nutné zjistit maximální průhyb od zatížení. U nosníku zatíženého symetricky se předpokládá maximální průhyb v polovině rozpětí. V první části je spočítán průhyb od působícího zatížení osamělými silami na průvlak Mohrovou metodou. V druhé části je spočítán průhyb od vlastní tíhy průvlaku pomocí vzorce ze statických tabulek.

7.1 Výpočet průhybu pomocí Mohrovy metody



Obrázek č. 10 - Zatěžovací schéma duálního nosníku a vykreslení ohybových momentů

Hodnoty sil na mezním stavu použitelnosti:

$$Q_{MSP} = Q = 17,8842 \text{ kN} \quad \text{viz (5.2)}$$

$$Q/2 = 17,8842 / 2 = 8,9421 \text{ kN}$$

Vzhledem k symetrickému rozložení sil, za předpokladu $R_{ya} = R_{yb}$, je možné zjednodušit výpočet reakcí podle součtové silové podmínky rovnováhy:

$$R_{ya} + R_{yb} = Q + Q + Q + Q/2 + Q/2 \quad (7.1)$$

Odtud: $2 * R_{ya} = 4 * 17,8842 = 71,5368 \text{ kN}$

$$R_{ya} = R_{yb} = 71,5368 / 2 = 35,7684 \text{ kN}$$

Výpočet ohybových momentů od zatížení:

1. $R_{ya} * 0,041 \quad (7.2)$

Dosazeno do (7.2) $1. = 35,7684 * 0,041 = 1,4665 \text{ kNm}$

2. $R_{ya} * 1,241 - Q/2 * 1,2 \quad (7.3)$

Dosazeno do (7.3) $2. = 35,7684 * 1,241 - 8,9421 * 1,2 = 33,6581 \text{ kNm}$

3. $R_{ya} * 2,441 - Q/2 * 2,4 - Q * 1,2 \quad (7.4)$

Dosazeno do (7.4) $3. = 35,7684 * 2,441 - 8,9421 * 2,4 - 17,8842 * 1,2 =$
 $= 44,3886 \text{ kNm}$

Kontrola součtovou podmínkou rovnováhy ve směru y: $2. = 4.$

4. $R_{ya} * 3,641 - Q/2 * 3,6 - Q * 2,4 - Q * 1,2 \quad (7.5)$

Dosazeno do (7.5) $4. = 35,7684 * 3,641 - 8,9421 * 3,6 - 17,8842 * 2,4 - 17,8842 *$
 $* 1,2 = 33,6581 \text{ kNm}$

Zatížení duálního nosníku je koncipováno tak, že hodnoty kladných ohybových momentů na prostém působí směrem dolů na duálním nosníku.

Hodnoty zatížení duálního nosníku dle Obrázku č. 10:

| | | | | | |
|----|---------|----|---------|----|--------|
| 1' | 1,4665 | 3' | 44,3886 | 5' | 1,4665 |
| 2' | 33,6581 | 4' | 33,6581 | | |

Lichoběžníkové zatížení duálního nosníku je potřebné nahradit náhradními břemeny:

$$Q_1^{\Delta'} = \frac{1}{2} * 0,041 * 1,4665 = 0,0301$$

$$Q_1^{\square'} = 1,2 * 1,4665 = 1,7598$$

$$Q_2^{\Delta'} = \frac{1}{2} * 1,2 * 32,1916 = 19,3150 \quad 2' - 1' = 33,6581 - 1,4665 = 32,1916$$

$$Q_2^{\square'} = 1,2 * 33,6581 = 40,3897$$

$$Q_3^{\Delta'} = \frac{1}{2} * 1,2 * 10,7305 = 6,4383 \quad 3' - 2' = 44,3886 - 33,6581 = 10,7305$$

Výpočet podporových reakcí duálního nosníku ze součtové podmínky rovnováhy ve směru y.
Vzhledem k symetrii zatížení vzato pouze na polovinu nosníku:

$$R_{ya} = Q_1^{\Delta'} + Q_1^{\square'} + Q_2^{\Delta'} + Q_2^{\square'} + Q_3^{\Delta'} \quad (7.6)$$

Dosazeno do (7.6)

$$R_{ya} = 0,0301 + 1,7598 + 19,3150 + 40,3897 + 6,4383 = 67,9329$$

Ze symetričnosti zatížení vyplývá:

$$R_{ya} = R_{yb} = 67,9329$$

Výpočet maximálního ohybového momentu na duálním nosníku:

$$M'_{MAX} = R_{ya} * 2,441 - Q_1^{\Delta'} * \left(\frac{0,041*1}{3} + 2,4 \right) - Q_1^{\square'} * \left(\frac{1}{2} * 1,2 + 1,2 \right) - Q_2^{\Delta'} * \left(\frac{1,2*1}{3} + 1,2 \right) - \\ - Q_2^{\square'} * \left(\frac{1}{2} * 1,2 \right) - Q_3^{\Delta'} * \left(\frac{1}{3} * 1,2 \right) =$$

$$\text{Dosazeno: } M'_{MAX} = 67,9329 * 2,441 - 0,0301 * (2,4137) - 1,7598 * (1,800) - 19,3150 * (1,600) - 40,3897 * (0,600) - 6,4383 * (0,400)$$

$$\text{Odtud: } M'_{MAX} = 165,5242 - 0,0727 - 3,1676 - 30,9024 - 24,2338 - 2,573$$

$$M'_{MAX} = 104,8724$$

Princip duality

Průhyb w se určí jako M' na fiktivním nosníku, zatíženém $q' = \frac{My}{EI}$

Průhyb, od nosníků I180 + stálé zatížení + proměnné zatížení, se spočítá tak, že se vydělí maximální ohybový moment duálního nosníku jeho tuhostí EI:

$$w_{M_{MAX}} = \frac{M'}{EI} \quad (7.7)$$

Dosazeno do (7.7)

$$w_{M_{MAX}} = \frac{104872,4}{EI} = \frac{104872,4}{(2,1 \cdot 10^{11}) \cdot (5,38 \cdot 10^{-5})} = 9,2824 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$w_{M_{MAX}} = 9,2824 \text{ mm}$$

Průhyb od vlastní tíhy průvlaku je spočítán dle statických tabulek [6]:

$$w_q = \frac{5}{384} * \frac{q \cdot l^4}{EI} \quad (7.8)$$

Dosazeno do (7.8)

$$w_q = \frac{5}{384} * \frac{587,4 \cdot 4,882^4}{(2,1 \cdot 10^{11}) \cdot (5,38 \cdot 10^{-5})} = 0,38456 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$w_q = 0,3846 \text{ mm}$$

Celkový průhyb v polovině rozpětí:

$$w_{celkové} = w_{M_{MAX}} + w_q \quad (7.9)$$

Dosazeno do (7.9)

$$w_{celkové} = 9,2824 \cdot 10^{-3} + 0,3846 \cdot 10^{-3} = 9,6670 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 9,6670 \text{ mm}$$

Posouzení průhybu podle platné normy ČSN EN 1993-1-1 (731401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí, dle doporučených mezních hodnot svislých průhybů:

Maximální mezní normová hodnota přípustná pro průvlak: $w = \frac{L}{400} = \frac{4882}{400} = 12,2050 \text{ mm}$

$$w_{celkové} \leq w_{normové} \quad (7.10)$$

Posouzení průhybu dle (7.10)

$$9,6670 \text{ mm} \leq 12,2050 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

8 VÝPOČET POMOCÍ PROGRAMU ANSYS

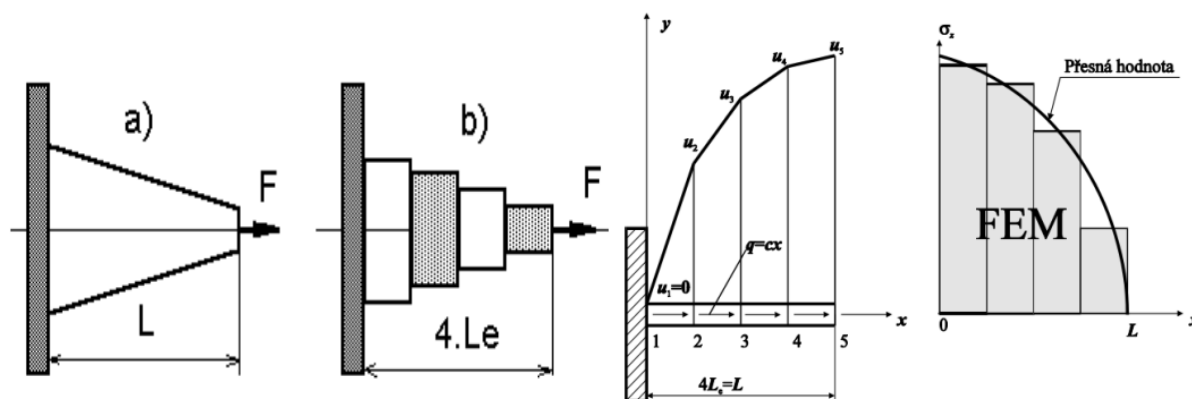
8.1 Stručná historie ANSYSU

V roce 1970 Dr. John A. Swanson založil společnost s názvem Swanson Analysis Systems, Inc. - zkratka SASI. Jeho hlavním cílem bylo rozvinout a dostat na trh software konečných prvků pro stavební fyziku, který by simuloval statické, dynamické a tepelné problémy převedené na konstrukční systémy. Společnost SASI pracovala na svém projektu zároveň s rozvojem výpočtové techniky. V roce 1994 společnost SASI koupila nová firma. Ta pojmenovala software tak, jak ho známe dnes - ANSYS. [7]

8.2 Základní myšlenka

ANSYS je moderní výpočtový program založen na metodě konečných prvků - MKP (Finite Element Method - FEM). MKP je metoda pro diskretizaci kontinua (rozdělení tělesa na malé části - prvky), které jsou matematicky snadno popsitelné. Vychází z klasických modelů z nauky o pružnosti: nosníky (beams), skořepiny (shells), rovinná úloha (2D - two - dimensional), prostorová úloha (3D - three - dimensional). Pro tuto diskretizaci platí, že je těleso pokryto konečnými elementy, které jsou protnuty ve vybraných uzlech. [8]

Kontinuum (těleso) lze rozdělit na konečný počet prvků, z kterých se vytvoří síť prvků. Platí tedy, čím pravidelnější a hustší síť prvků, tím přesnější je výpočet, ovšem za předpokladu vyšších nároků na výkon a paměť počítačové výpočetní techniky.



Obrázek č. 11 - Nahrazení složitého pole polem jednoduchým, za použití prvků [9]

Snažíme se tedy určit ideální rozumnou hranici mezi odchylkou v globálním výpočtu a nároky na konfiguraci počítače.

9 TVORBA MKP MODELU

9.1 Popis konstrukce a modelu

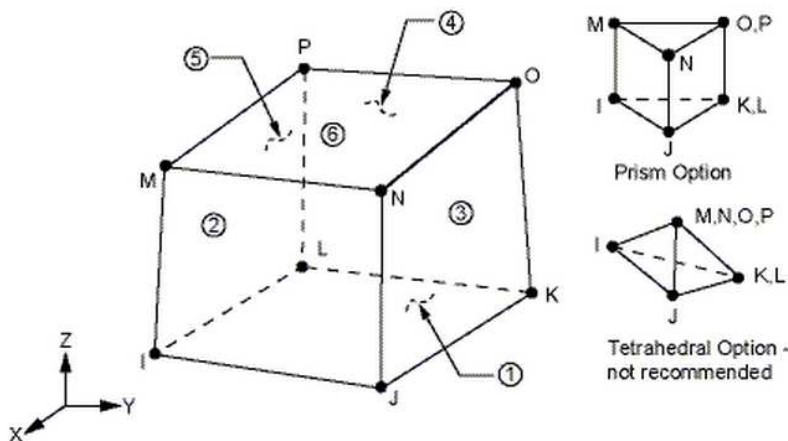
Stropní konstrukce je složena z pěti ocelových nosníků profilů I 180 dlouhých 6,000 m, jimiž je podepřený ocelový průvlak délky 4,882 m složený ze dvou k sobě svařených profilů U 220. Stropní konstrukce byla modelovaná v programu ANSYS 13.0. Vzhledem k tomu, že model je složen pouze z ocelových nosníků ze stejného materiálu, stačí zadat na celou konstrukci prvky jednoho typu o stejných materiálových a geometrických vlastnostech. Model bude vytvořen pomocí prvků SOLID 185, kterým se nadefinují vlastnosti skutečného materiálu - hustota, Poissonův součinitel, Yangův modul (Modul pružnosti). Pomocí zadání zemské gravitace (tíhové zrychlení) je docíleno zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce. Všechno ostatní stálé a nahodilé zatížení bude přepočítáno na zatížení do uzlů a zadáno jako uzlové síly rovnoběžně se směrem globální osy y. Vypočtené hodnoty napětí a průhybu v posuzovaných uzlech konstrukce budou v závěru práce posouzeny na mezní stav únosnosti a použitelnosti.

9.2 Element typu SOLID 185

Prostorové konstrukce se modelují pomocí prvků typu „solid“. Jako vhodný prvek pro modelování tuhé trojrozměrné struktury byl zvolen element typu SOLID 185.

Postup zadání: Preprocessor => Element Type => Add / Edit / Delete => Add

Je definován jako osmi uzlový prvek - šestistěn, mající v každém uzlu tři stupně volnosti převedeny do globálních x, y, z souřadnic. Jedná se o základní trojrozměrný objemový prvek, tzv. „brick“ s 24mi stupni volnosti, vhodný pro statickou analýzu. Geometrie a rozmístění uzlů jsou znázorněny na obrázku: [10]



Obrázek č. 12 - Prostorový prvek SOLID 185

V praxi se dává přednost použití sítě prvků typu „brick“ (cihla) před použitím prvků typu „tet“ (čtyřstěn). V současnosti neexistují generátory sítě prvků ve tvaru šestistěnu pro obecně tvarované objemy. Objemy je nejprve nutné rozdělit na pravidelné topologicky přípustné podobjemy, a ty potom lze již vykřýt prvky ve tvaru šestistěnu. Abychom zajistili monotónní konvergenci ke správnému řešení, je nutné v deformační variantě konečných prvků dosáhnout toho, aby prvky byly úplné a kompatibilní. Jsou-li tyto podmínky splněny, potom při zjemňování sítě prvků přesnost řešení spojitě roste. [11].

Tomuto elementu byly přiděleny materiálové vlastnosti oceli.

Postup zadání:

a) *Preprocessor => Material Props => Material Models => Structural => Linear => Elastic => Isotropic*

Zadáno:

| | |
|--|---------------------------|
| Yangův modul (modul pružnosti materiálu) | EX = 2,1E11 Pa |
| Poissonův součinitel | $\nu = \text{PRXY} = 0,3$ |

b) *Preprocessor => Material Props => Material Models => Structural => Density*

Zadáno:

| | |
|---------|------------------------------|
| Hustota | $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ |
|---------|------------------------------|

9.3 Postup modelování ve výpočtovém programu ANSYS

PREPROCESSING

1. Zadání bodů (keypoints) do globálního kartézského souřadnicového systému
2. Spojení bodů (keypoints) v úsečky (lines)
3. Nastavení dělení (meshing) úseček
4. Vytvoření ploch (areas)
5. Protlačení ploch do prostoru - vznik objemů (volumes)
6. „Nameshování“ objemů na elementy podle rozdělených úseček (lines)
7. Zkopírování prvků - vytvoření stropní konstrukce

Následující postup tvorby platí s tím rozdílem, že byla pro urychlení tvorby modelu zadána pouze celá čtvrtina profilu, která se následně otočila kolem nově definovaného souřadnicového systému válcového (cylindrického). Tím vznikla polovina profilu, která byla poté opět otočena o 180° kolem dalšího nově definovaného válcového systému.

Postup zadání vložení nově definovaného lokálního systému válcového:

Utility Menu => WorkPlane => Local Coordinate Systems => Create Local CS => By 3 Keypoints +

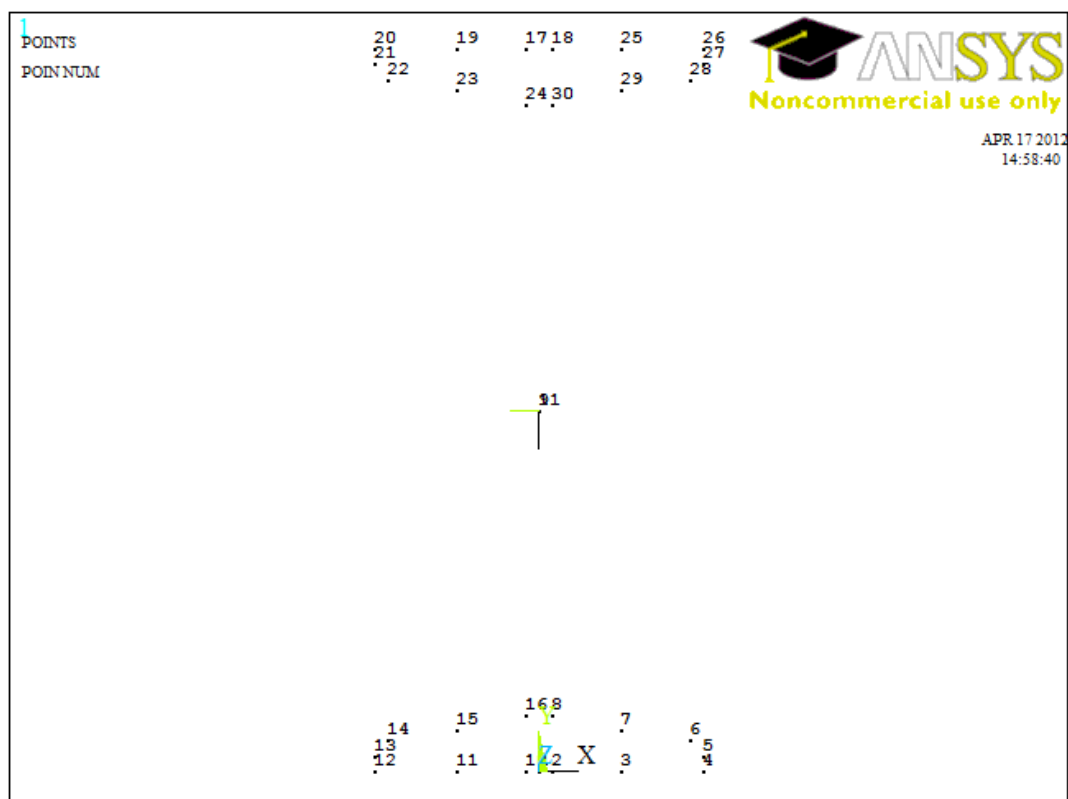
Vhodné zvolení tří bodů, které určují vlastní lokální souřadnicový systém. V následující tabulce je zvolen souřadnicový systém cylindrický

9.3.1 Zadání bodů (keypoints) do globálního kartézského souřadnicového systému

Jako první byly zadány souřadnice (x, y) bodů profilu I 180 dle tabulek ocelových válcovaných profilů.

Postup zadání:

Preprocessor => Modeling => Create => Keypoints => In Active CS



Obrázek č. 13 - Body (Keypoints) I 180

Postup pro získání informací o bodech (keypointech):

Utility Menu => List => Keypoint => Coordinates Only

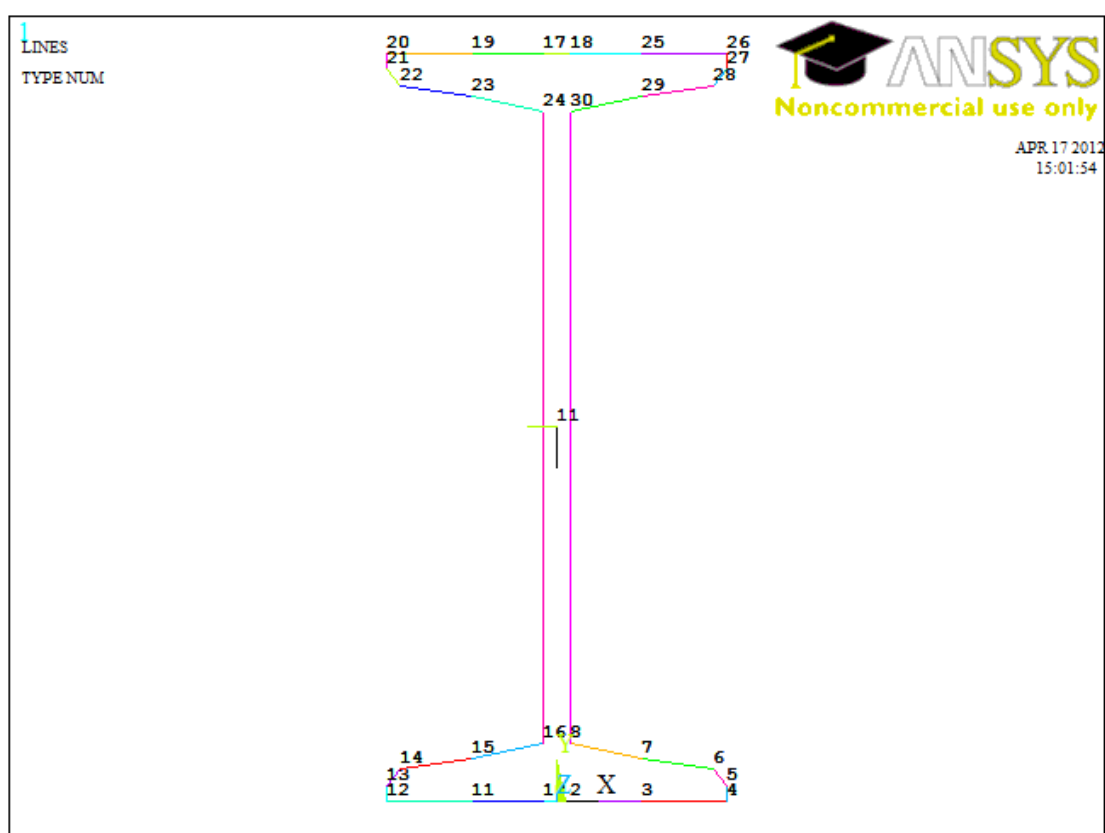
Souřadnice bodů profilu „I“ jsou obsaženy v příloze č. I.

9.3.2 Spojení bodů (keypoints) v úsečky (lines)

Spojením dvou bodů vznikne úsečka. Úsečky po obvodu ohraničí daný profil.

Postup zadání:

Preprocessor => Modeling => Create => Lines => Lines => In Active Coord



Obrázek č. 14 - Úsečky (Lines) I 180

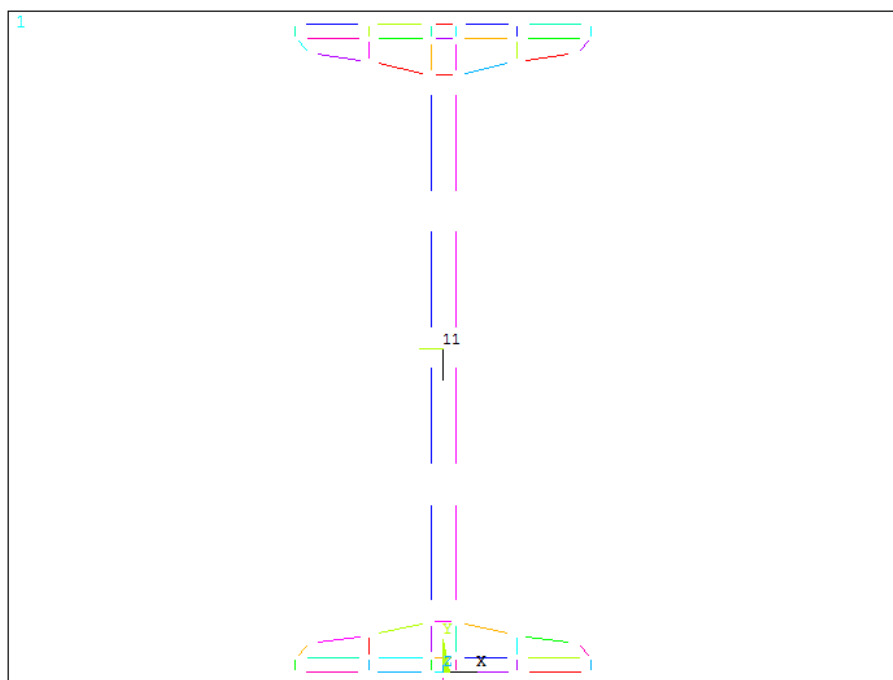
9.3.3 Nastavení dělení (meshing) úseček

V tomto kroku se úsečky rozdělí na části, podle kterých při dělení vzniknou prvky.

Postup zadání:

Preprocessor => Meshing => Size controls => Manual size => Lines => Picked lines

Zde se zadá buď velikost jednotlivých částí, anebo počet částí, na který má být úsečka rozdělena. Daný profil je rozdělen po výšce na osm částí.

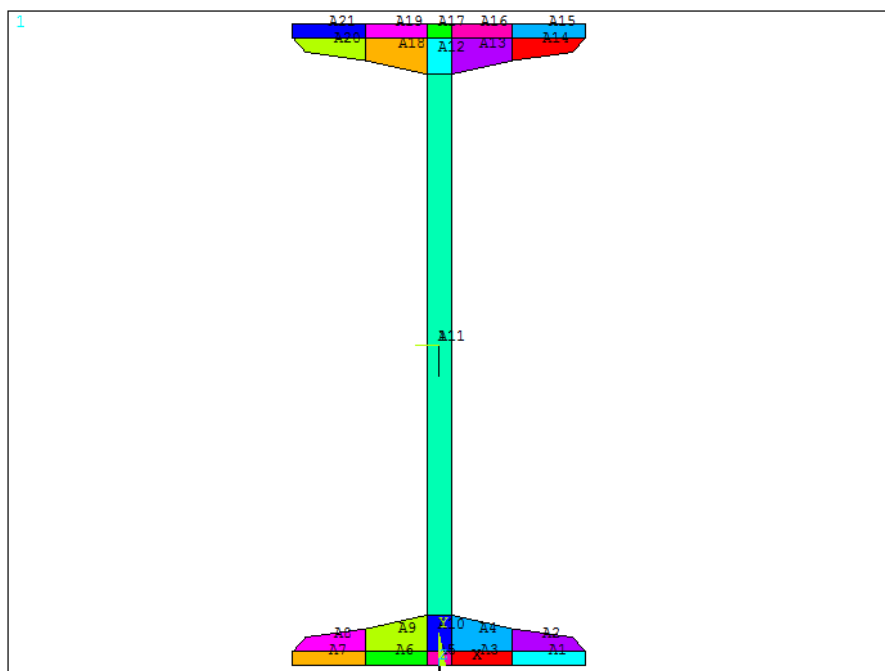


Obrázek č. 15 - Rozdělení úseček (Meshed lines) I180

9.3.4 Vytvoření ploch (areas)

Po rozdělení profilu na části lze vytvořit plochy z úseček pomocí zadaného příkazu.

Preprocessor => Modeling => Create => Areas => Arbitrary => By Lines



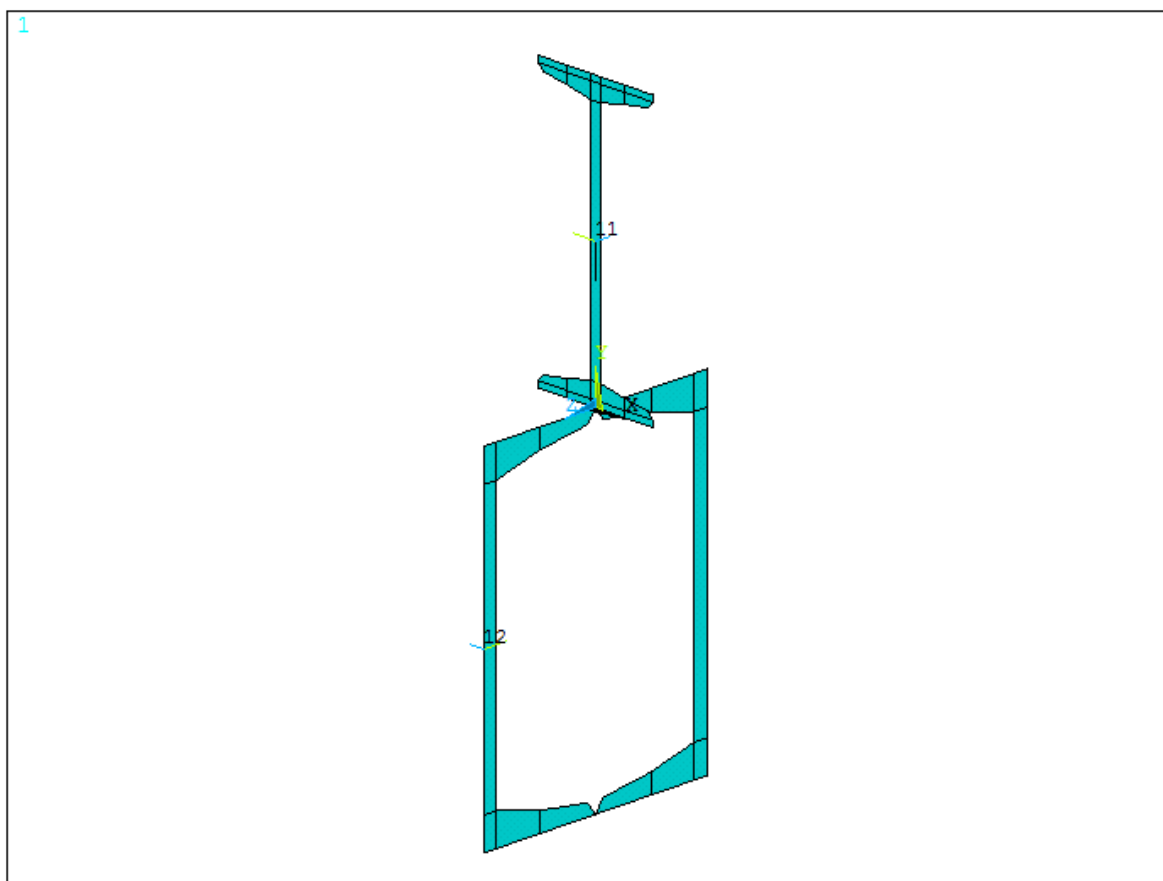
Obrázek č. 16 - Plochy (Areas) I180

Pro postup při tvorbě průvlaku je použit stejný postup, který byl aplikován na model profilu „I“, a to:

1. Zadání bodů (keypoints) do globálního kartézského souřadnicového systému (y, z)
2. Spojení bodů (keypoints) v úsečky (lines)
3. Nastavení dělení (meshing) úseček
4. Vytvoření ploch (areas)

viz Příloha č. II, III

Správné dělení úseček zajistí návaznost uzlů mezi profily „I“ a „U“. Po těchto krocích vznikne průsečík dvou hran průřezů, kde se nachází globální souřadnicový systém.



Obrázek č. 17 - Průsečík dvou hran průřezů - I 180 a 2xU 220

Dále popsánymi kroky vznikne prostorový model.

9.3.5 Protážení ploch podél úseček do prostoru - vznik objemů (volumes)

Všechny plochy „I“ profilu jsou taženy po horních úsečkách průvlaku, tím vznikne část nosníku. Všechny plochy průvlaku 2xU 220 jsou taženy po spodních úsečkách „I“ profilu. Tímto je dosaženo sestrojení části stropní konstrukce - střet „I“ nosníku s průvlakem.

Postup zadání:

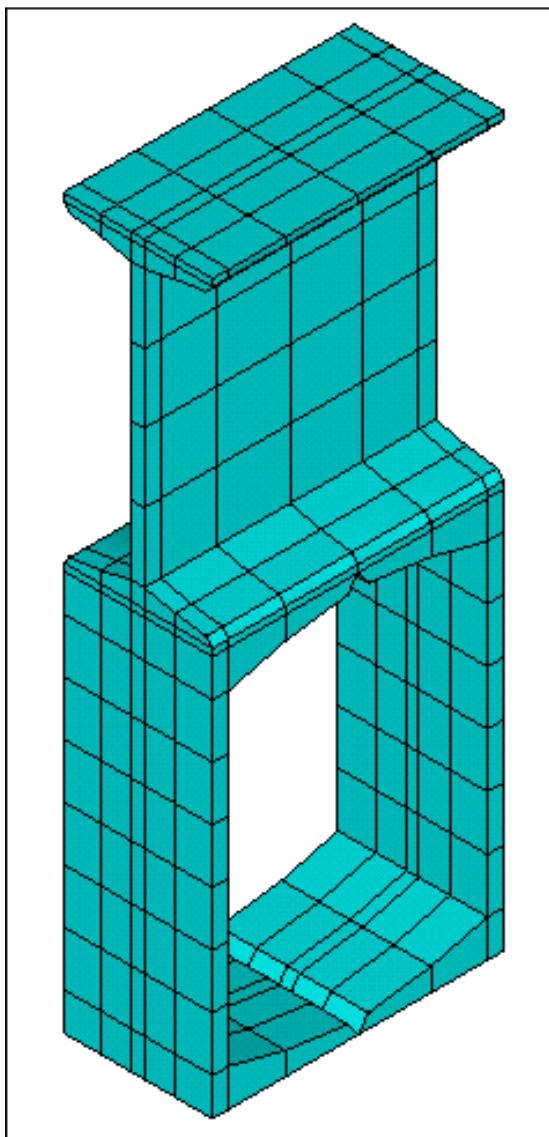
Preprocessor => Modeling => Operate => Extrude => Areas => Along lines

9.3.6 Rozdělení objemů na elementy podle úseček se zadaným dělením

Nyní je třeba objemy rozdělit, čímž se získá model z elementů SOLID 185.

Postup zadání:

Preprocessor => Meshing => Mesh => Volumes => Mapped 4 or 6 sided

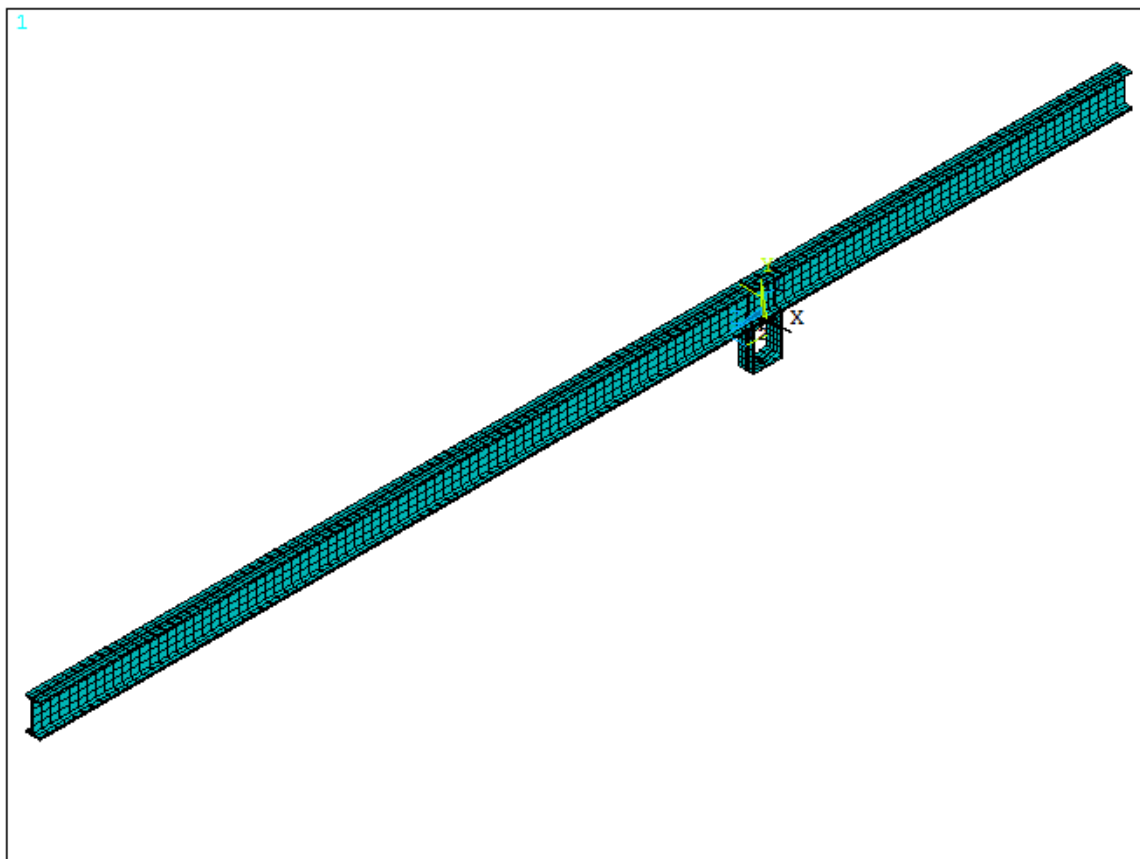


Obrázek č. 18 - Prvky SOLID 185 - Střet „I“ nosníku s průvlakem

Všechny nižší části (objemy, plochy, úsečky, body) lze smazat. Dále se pracuje pouze s elementy.

9.3.7 Zkopírování prvků - vytvoření stropní konstrukce

Dále je nutné zvolit body, které představují začátek a konec celého nosníku. Body se spojí v úsečky, které se rozdělí na části. „I“ nosník je tažen po vzniklých úsečkách.



Obrázek č. 19 - Prvky SOLID 185 - Celý nosník „I“ profilu s částí průvlaku

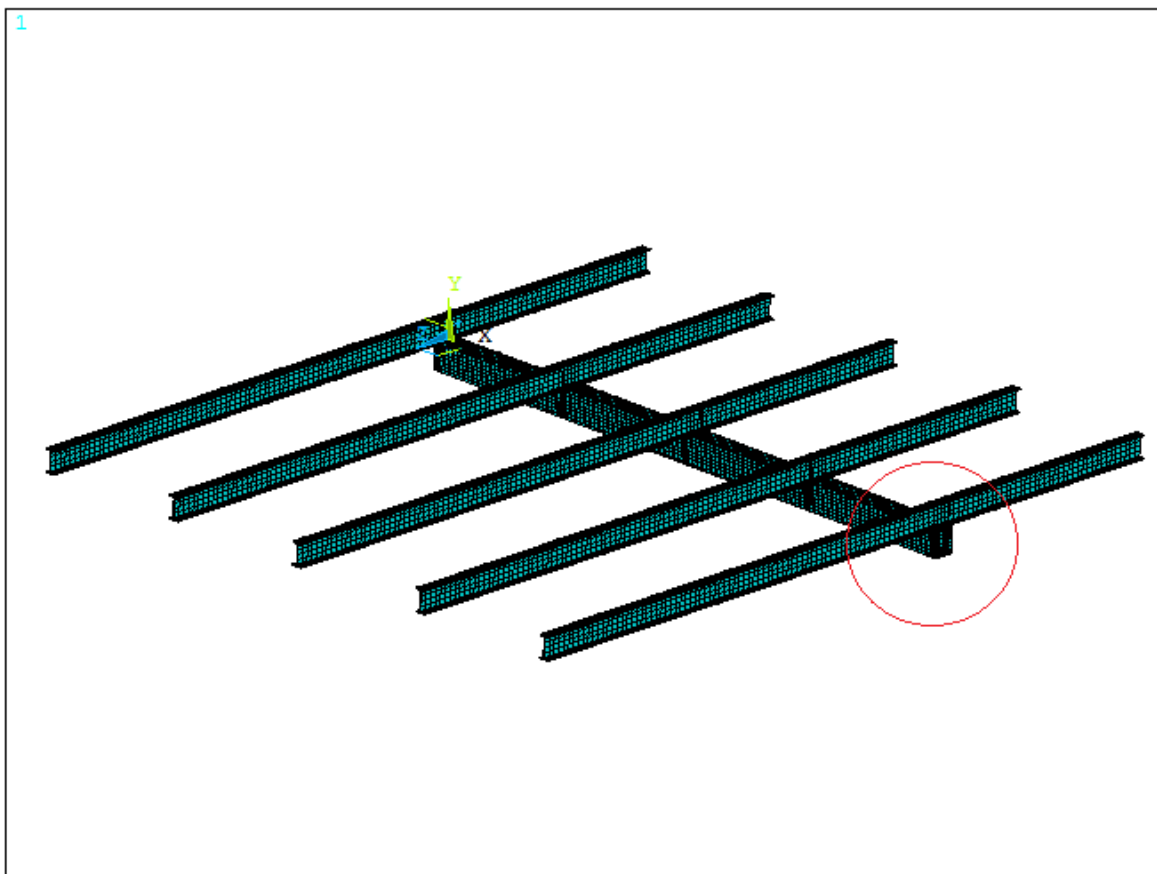
Tato část je zkopírována o osovou vzdálenost nosníků 1,200 m v kartézském globálním souřadnicovém systému ve směru globální osy X 5x včetně již vymodelované části.

Postup zadání:

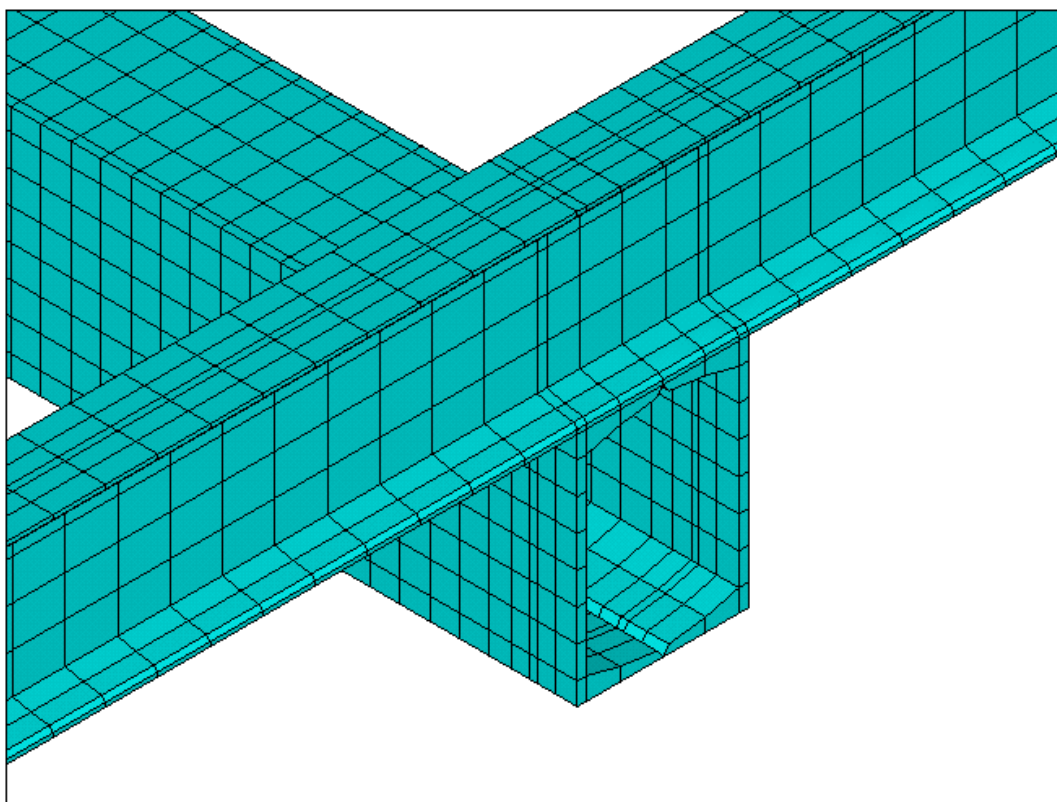
Preprocessor => Modeling => Copy => Volumes

Vzniklé mezery mezi nosníky jsou vyplněny průvlakem - stejný způsob (KPs, lines, size controls picked lines, extrude along lines).

Tímto je dokončeno modelování prostorové stropní konstrukce.



Obrázek č. 20 - MKP model celé stropní konstrukce



Obrázek č. 21 - Detail MKP modelu stropní konstrukce

Před zadáním zatížení a uložení je nutné konstrukci tzv. „vyčistit“, tj. smazat postupně všechny přebývající, či zdvojené části (objemy, plochy, úsečky, body) konstrukce.

Preprocessor => Modeling => Delete => Volumes (areas, keypoints)

Pro zajištění jednotného stropu bez jakýchkoliv odchylek, či mezer je třeba model sloučit a zkomprimovat číslování elementů.

Příklad: Dva oddělené, ale shodné uzly jsou nahrazeny jedním shodným uzlem. Uzel s vyšším číslem je smazán a je nahrazen uzlem s nižším číslem.

Děje se tak dvěma příkazy:

Preprocessor => NumberingCtrls => Merge Items

Preprocessor => NumberingCtrls => Compress numbers

Po těchto krocích je model celého stropu složen pouze z elementů SOLID 185.

Celkový počet elementů celé stropní konstrukce - 19560 SOLID 185

9.4 Zadání uložení a zatížení

Postup k výpočtu

1. Zadání okrajových podmínek
2. Zadání zatížení
3. Výpočet

9.4.1 Zadání okrajových podmínek

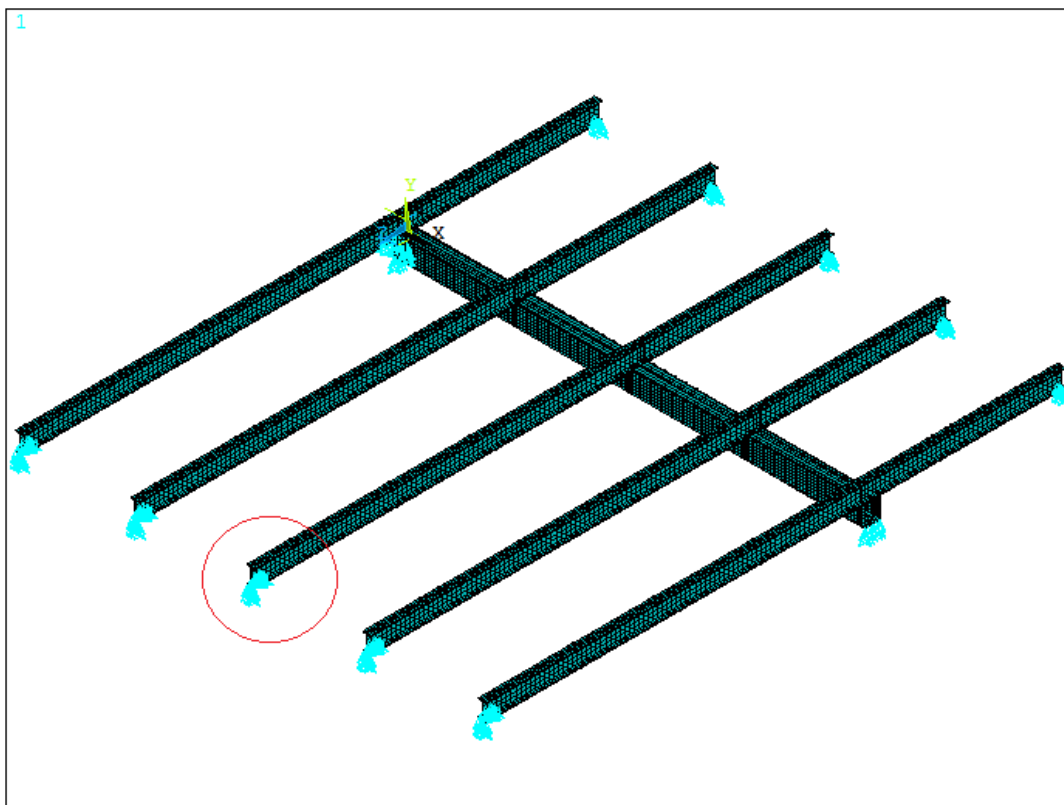
Pro zadání okrajových podmínek do modelu je nutné dodržet podmínky skutečného uložení konstrukce nebo alespoň přiblížit v nejbližší možné míře. Vzhledem k dané konstrukci a způsobu technologie bude uvažováno prosté uložení celé konstrukce. Z jedné strany nosníků je zabráněno posuvům ve směru globálních souřadnic „y“ a „z“. Z druhé strany nosníku je zabráněno posuvu pouze v globálním směru souřadnic „y“.

U průvlaku bude taktéž uvažováno prosté uložení. Avšak z jedné strany průvlaku je zabráněno posuvům ve směru globálních souřadnic „x“, „y“ a na druhé straně pouze v globálním směru souřadnic „y“.

Okrajové podmínky byly vloženy do uzlů (nodes) tak, aby demonstrovaly skutečnost uložení. Zabránění posuvům bylo pouze uzlům na spodním líci nosníků.

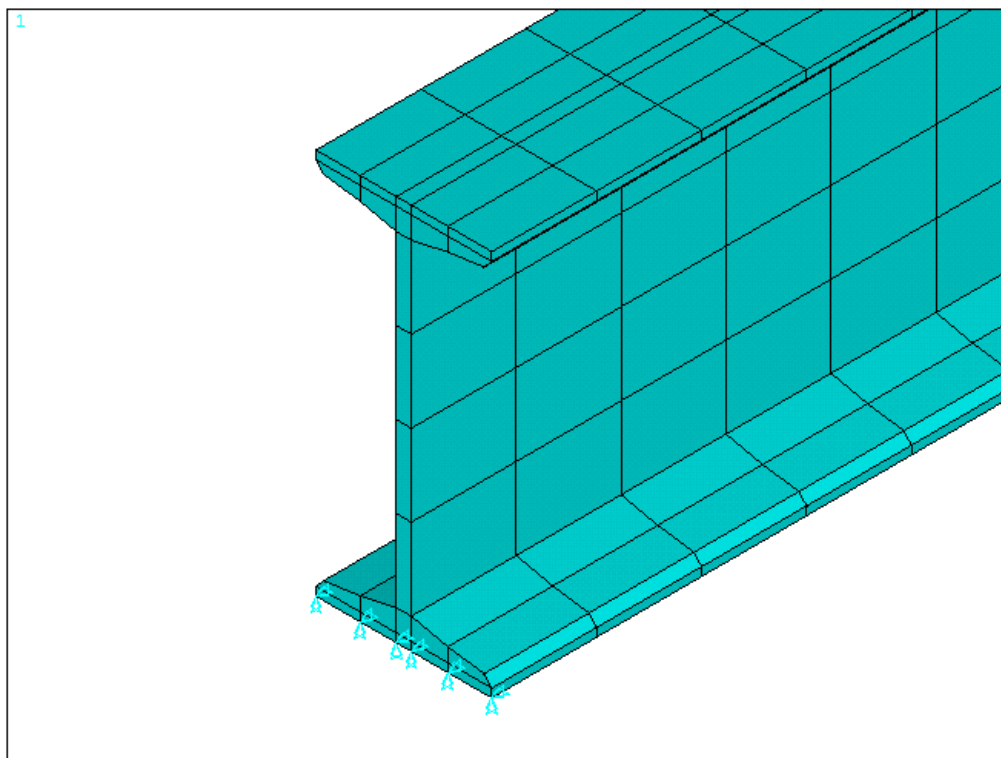
Postup zadání:

Solution => Define Loads => Apply => Structural => Displacement => On Nodes



Obrázek č. 22 - Okrajové podmínky celé stropní konstrukce

Názorný příklad, kam a jakým způsobem se umístily okrajové podmínky - do uzlů u spodního okraje profilů.



Obrázek č. 23 - Detail umístění okrajových podmínek - prosté uložení

9.4.2 Zadání zatížení na mezní stav použitelnosti

Veškeré zatížení, které působí na konstrukci, bylo na začátku spočítané jako liniové zatížení na jeden běžný metr délky. Zadání zatížení do modelu je provedeno ve dvou krocích.

V prvním kroku bylo použito tíhové zrychlení pro zadání vlastní tíhy ocelových nosníků. Ve směru globální osy Y bylo zadáno tíhové zrychlení o velikosti $9,81 \text{ m/s}^2$. Pozitivní zrychlení ve směru y stimuluje gravitaci v negativním, záporném směru globální osy Y. Tudíž je zadána kladná hodnota tíhového zrychlení. V modelu se objeví červená svislá šipka v počátku globálního souřadnicového systému.

Postup zadání:

Solution => Define Loads => Apply => Structural => Inertia => Gravity => Global

Ve druhém kroku je zadáno ostatní stálé a proměnné zatížení, které je přepočítané z liniového zatížení na zatížení do uzlů. Rovnoměrné spojité zatížení:

$$g = g_0 + g_1 + q_k - g_{1180} \quad (9.1)$$

Dosazeno do vztahu (9.1)

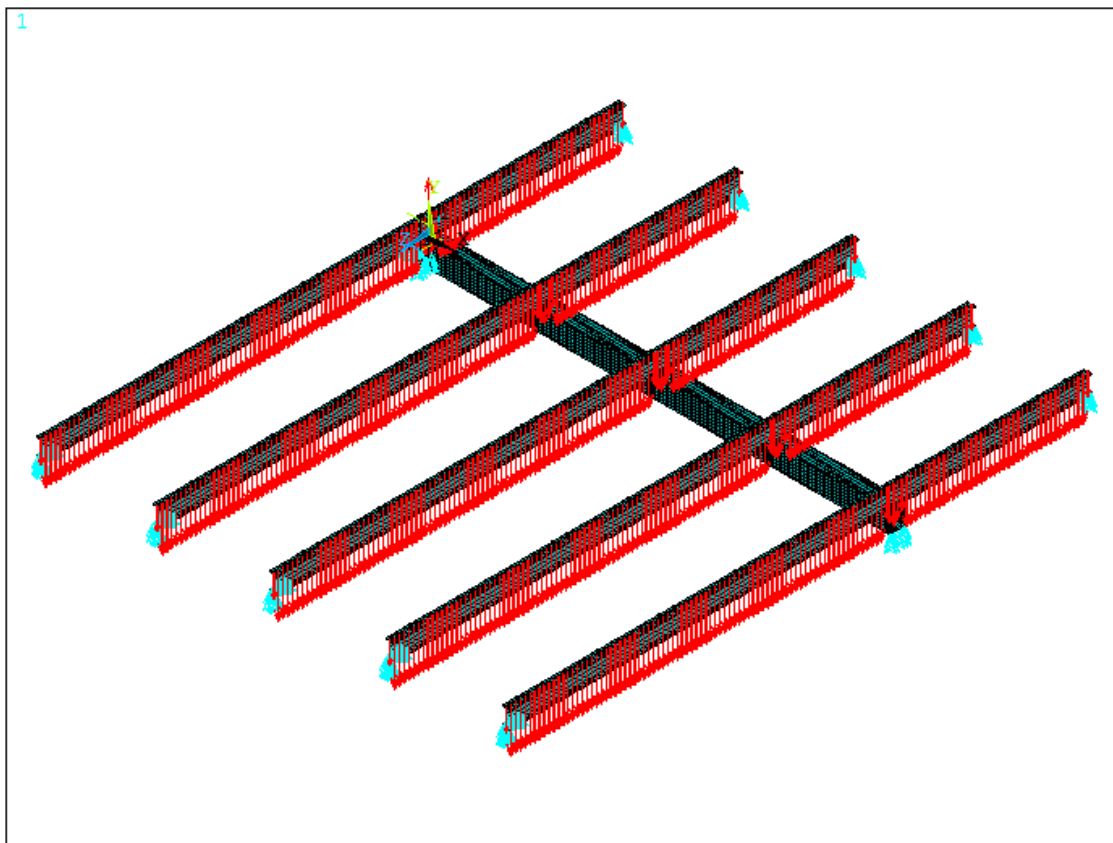
$$g = 2,9676 + 1,1938 + 1,8 - 0,219 = 5,7424 \text{ kN/m} = 5742,4 \text{ N/m}$$

Toto zatížení je rozpočítané do uzlových sil, dle vzdálenosti uzlů, čili velikosti elementu, tj. roznášecí délka ke každému uzlu (viz Příloha č. IV). Jiné (hustší) dělení elementů je zapříčiněno návazností uzlů mezi profily „I“ a „U“.

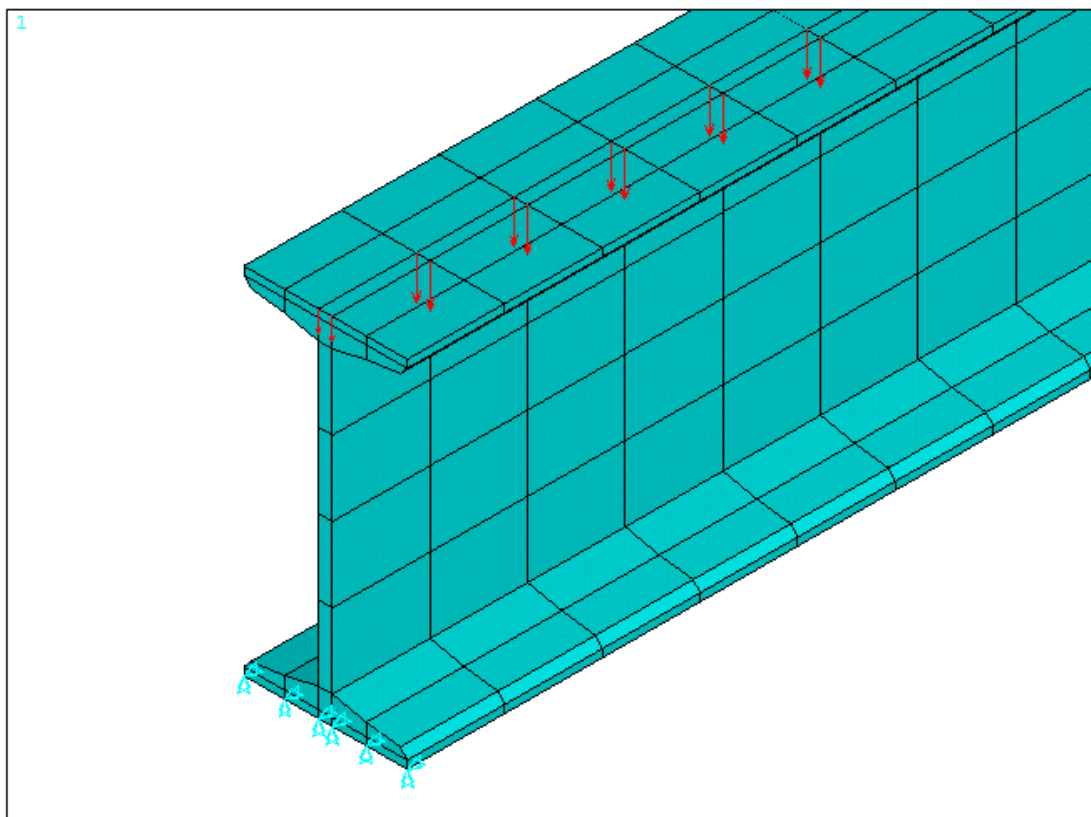
Postup zadání:

Solution => Define Loads => Apply => Structural => Force/ Moment => On Nodes

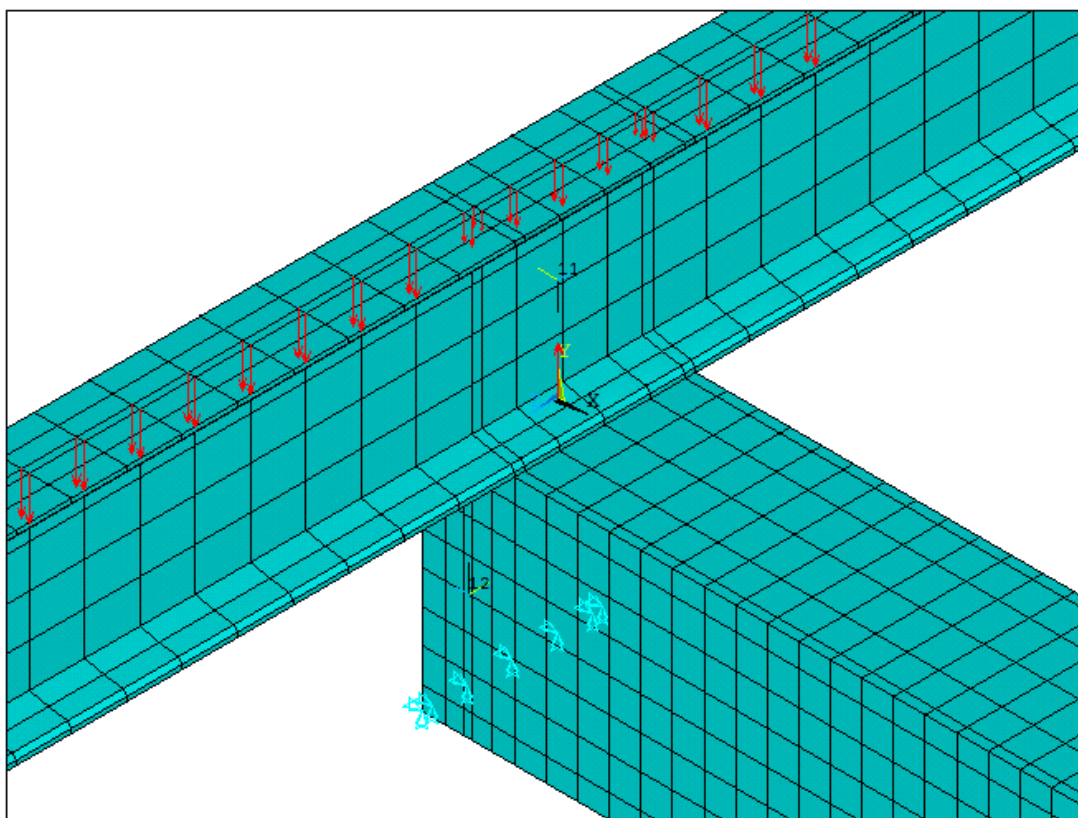
Vzhledem k tomu, že je délka jednotlivých prvků různá, je důležité správnému uzlu přidat správnou uzlovou sílu (náhradní břemeno).



Obrázek č. 24 - Zatížení na celou stropní konstrukci



Obrázek č. 25 - Detail: okrajové podmínky + zatížení na uzly



Obrázek č. 26 - Detail: okrajové podmínky + zatížení na uzly + gravitace

9.4.3 Zadání zatížení na mezní stav únosnosti

Zadání zatížení na mezní stav únosnosti je složitější. Je nutné zadat návrhové hodnoty zatížení jak stálého a proměnného, tak i návrhové hodnoty zatížení vlastní tíhou.

Děje se tak ve dvou etapách:

- I. Pro stálé a proměnné zatížení jsou hodnoty vynásobeny dílčími součiniteli zatížení a přepočítány na zatížení do uzlů, viz Příloha č. IV. 2, stejně jako v předešlé podkapitole (9.4.2)

- II. Pro zatížení vlastní tíhou nosníků a průvlaku je třeba zadat zatěžovací stav ZS 1 tím, že je použito gravitace - zadání tíhového zrychlení $9,81 \text{ m/s}^2$ (viz. 9.4.2). Tento zatěžovací stav je nutné zapsat a vynásobit jej dílčím součinitelem zatížení 1,35. Pro takto zvolený způsob cesty zadání návrhové vlastní tíhy je zvolen postup za pomoci použití zkratk:

1. *Solution => Define Loads => Apply => Structural => Inertia => Gravity => Global* $9,81 \text{ m/s}^{-2}$
2. *lswrite,1* - zapsání zatěžovacího stavu vlastní tíhy
3. *lssolve,1* - výpočet zatěžovacího stavu
4. *lcfact,1,1.35* - na zatěžovací stav použit dílčí součinitel zatížení 1,35
5. *lcase,1* - ukončení procesu

9.4.4 Výpočet

Jako poslední krok před zobrazením výsledků je třeba zadat výpočet stropní konstrukce. Výpočet bude proveden lineární statickou analýzou.

Postup zadání:

Solution => Solve => Current LS

10 VÝSLEDKY - (POSTPROCESSING)

Po práci ve výpočtové části (Preprocessoru) se otevře a rozvětví další úsek programu, a to část výsledková (tzv. General Postprocessor). Zde se nachází všechny potřebné výsledky, ať již grafického nebo textového výstupu.

Výpočet je zaměřen na posouzení únosnosti a použitelnosti stropní konstrukce. V následujících krocích budou vygenerovány grafické výstupy s hodnotami maximálních deformací a normálových napětí nejvíce namáhaných ocelových nosníků - prostřední nosník profilu I 180 stropní konstrukce a ocelový průvlak profilu 2xU 220.

Možné odchylky od ručního výpočtu, které jsou způsobené zejména na nosnících profilu „I“, jsou zapříčiněny především bodovým podepřením průvlaku uvažované v ručním statickém výpočtu. Napětí se nekoncentruje do jednoho místa (bodu), nýbrž se rozprostře na plochu šířky průvlaku. Tak vznikají ve stejném posuzovaném místě konstrukce rozdílné hodnoty napětí. Mezní hodnoty jsou ve skutečnosti jinde, jak dále ukazuje ANSYS.

Grafický výstup normálových napětí pro nosník I 180

Postup zadání:

General Postprocessor => Plot Results => Contour Plot => Nodal Solution

V následující tabulce: „*Contour Nodal Solution Data*“ se zvolí *Stress => Z - Component of Stress*

Grafický výstup normálových napětí pro průvlak 2x U220

Postup zadání:

General Postprocessor => Plot Results => Contour Plot => Nodal Solution

V následující tabulce: „*Contour Nodal Solution Data*“ se zvolí *Stress => X - Component of Stress*

Grafický výstup deformací - průhybu

Postup zadání:

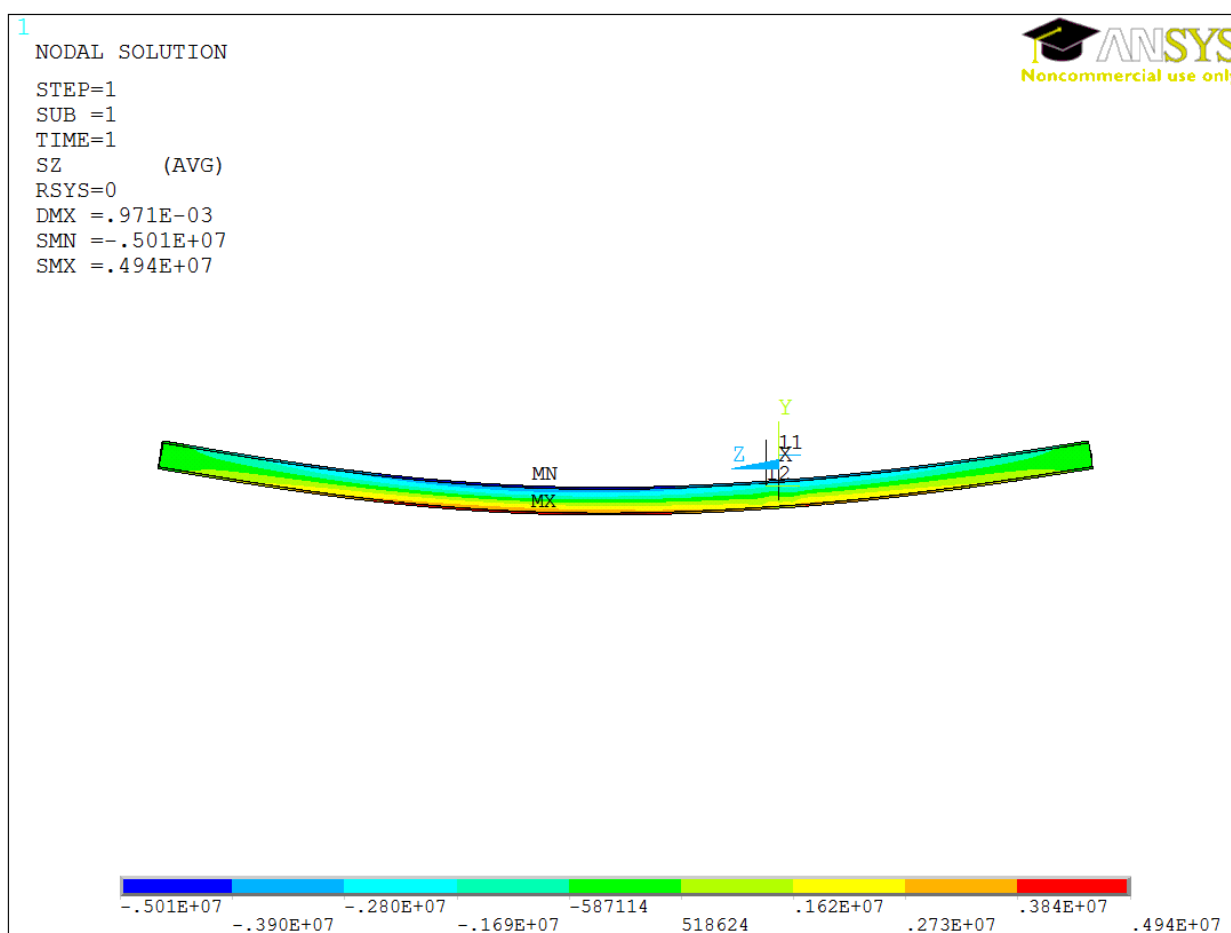
General Postprocessor => Plot Results => Contour Plot => Nodal Solution

V následující tabulce: „*Contour Nodal Solution Data*“ se zvolí *DOF Solution => Y - Component of Displacement*

10.1 Normálové napětí na mezní stav únosnosti

10.1.1 Nosník I180

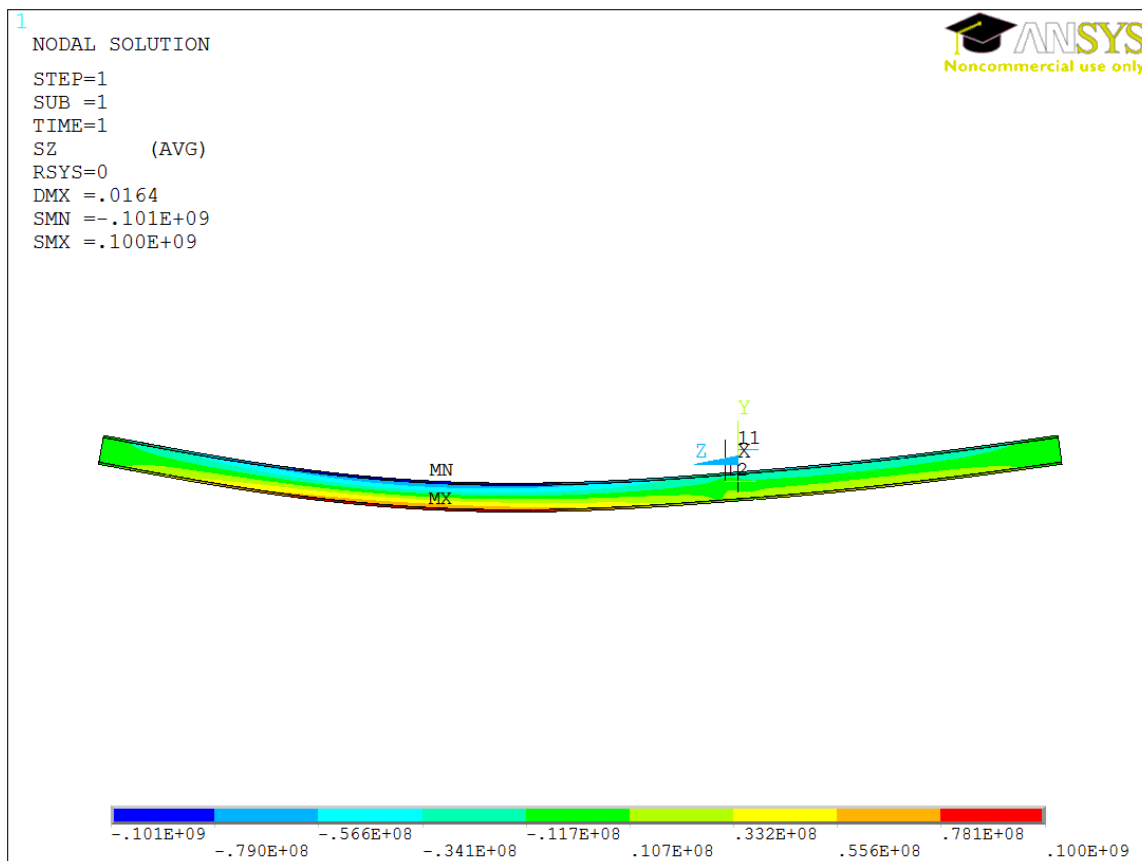
Pro posouzení napětí na MSÚ je třeba sečíst hodnoty maximálních napětí z obou zatěžovacích stavů: ZS1: vlastní tíha nosné konstrukce + ZS2: ostatní stálé zatížení a proměnné zatížení.



Obrázek č. 27 - Normálové napětí na nejvíce namáhaném nosníku od ZS 1

Pro normálové napětí pouze od vlastní tíhy nosné konstrukce, ZS 1, je největší hodnota v dolních vláknech $0,494E07 \text{ Pa} = 4,94 \text{ MPa}$.

Pro normálové napětí od ostatního stálého a proměnného zatížení, ZS 2, je největší hodnota v dolních vláknech $0,100E09 \text{ Pa} = 100 \text{ MPa}$.



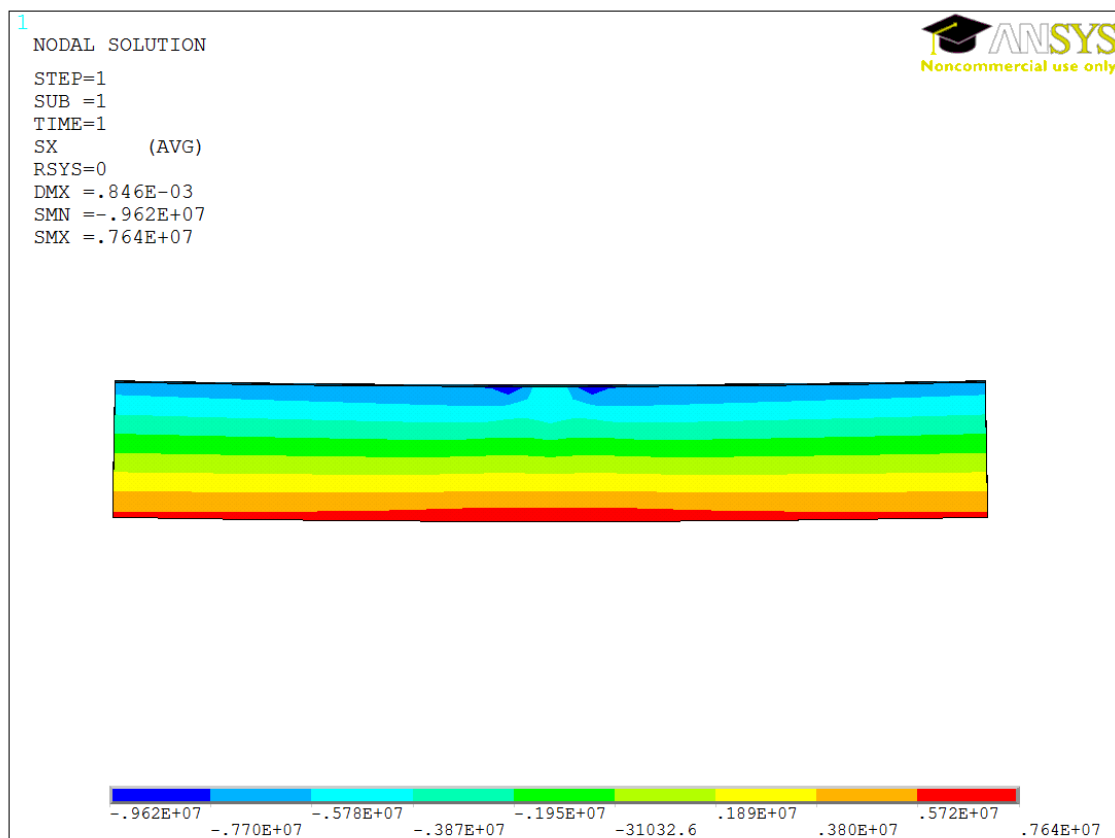
Obrázek č. 28 - Normálové napětí na nejvíce namáhaném nosníku od ZS 2

Celkové největší napětí v dolních vláknech nosníku I 180 je součet dvou zatěžovacích stavů: $4,94 \text{ MPa} + 100,00 \text{ MPa} = 104,94 \text{ MPa}$. Toto napětí je v závěru posuzováno dle platné normy [5].

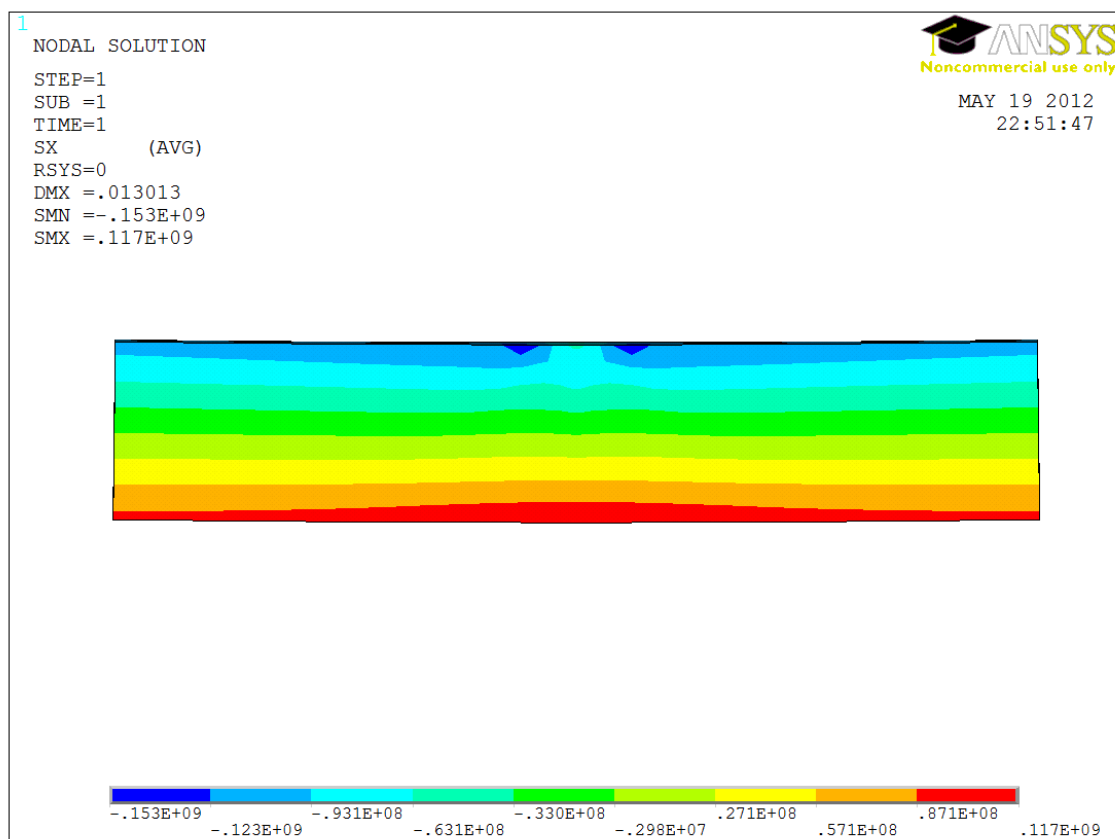
10.1.2 Průvlak 2xU 220

Hodnoty napětí na průvlaku jsou opět sečteny od ZS 1 (vlastní tíha nosné konstrukce) s hodnotami napětí od ZS 2 (zatížení ostatní stálé a proměnné). Pro posouzení jsou brány napětí na dolních vláknech ve středu délky průvlaku.

Celkové největší napětí v dolních vláknech průvlaku 2xU 220 je součet dvou zatěžovacích stavů: $7,64 \text{ MPa} + 117,00 \text{ MPa} = 124,64 \text{ MPa}$. Toto napětí je v závěru posuzováno dle platné normy [5].



Obrázek č. 29 - Normálové napětí od ZS1 na průvlak - detail: Hodnota napětí 0,764E07 Pa



Obrázek č. 30 - Normálové napětí od ZS2 na průvlak - detail: Hodnota napětí 0,117E09 Pa

10.2 Normálové napětí na mezní stav použitelnosti

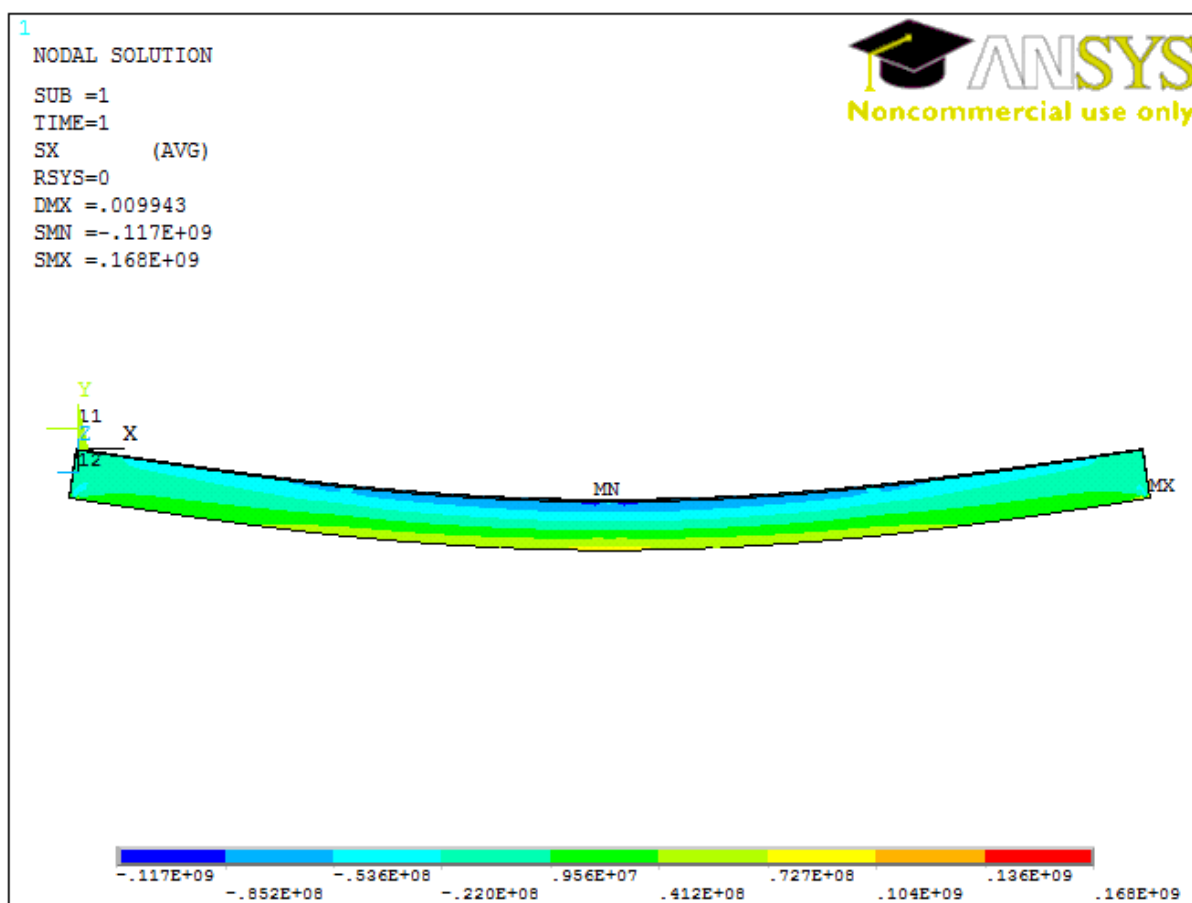
10.2.1 Průvlak 2xU 220

Hodnoty zatížení sil do uzlů na mezní stav použitelnosti jsou přepočítány v Příloze č. IV.

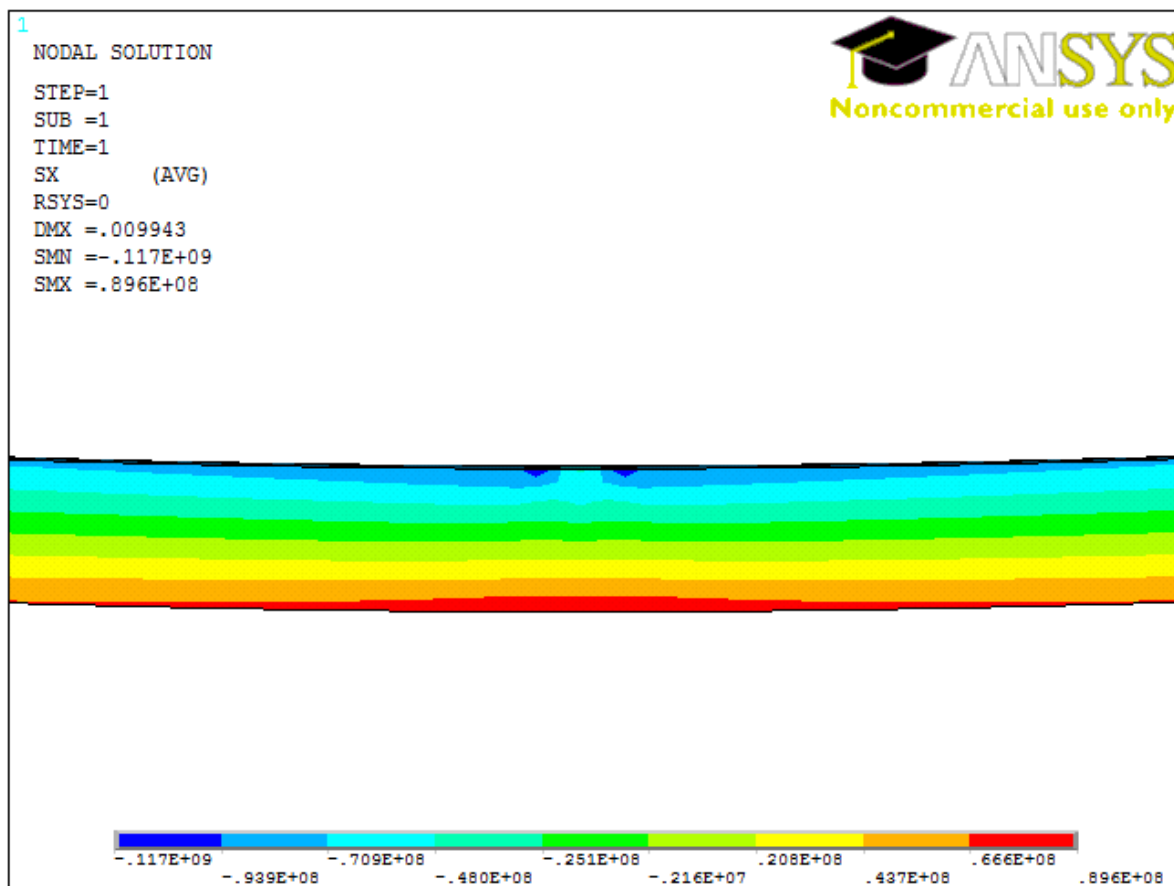
Postup zadání:

General Postprocessor => Plot Results => Contour Plot => Nodal Solution

V následující tabulce: „*Contour Nodal Solution Data*“ se zvolí *Stress => X - Component of Stress*



Obrázek č. 31 - Normálové napětí na průvlaku 2xU 220



Obrázek č. 32 - Normálové napětí na průvlaku 2xU 220 - detail střední části průvlaku

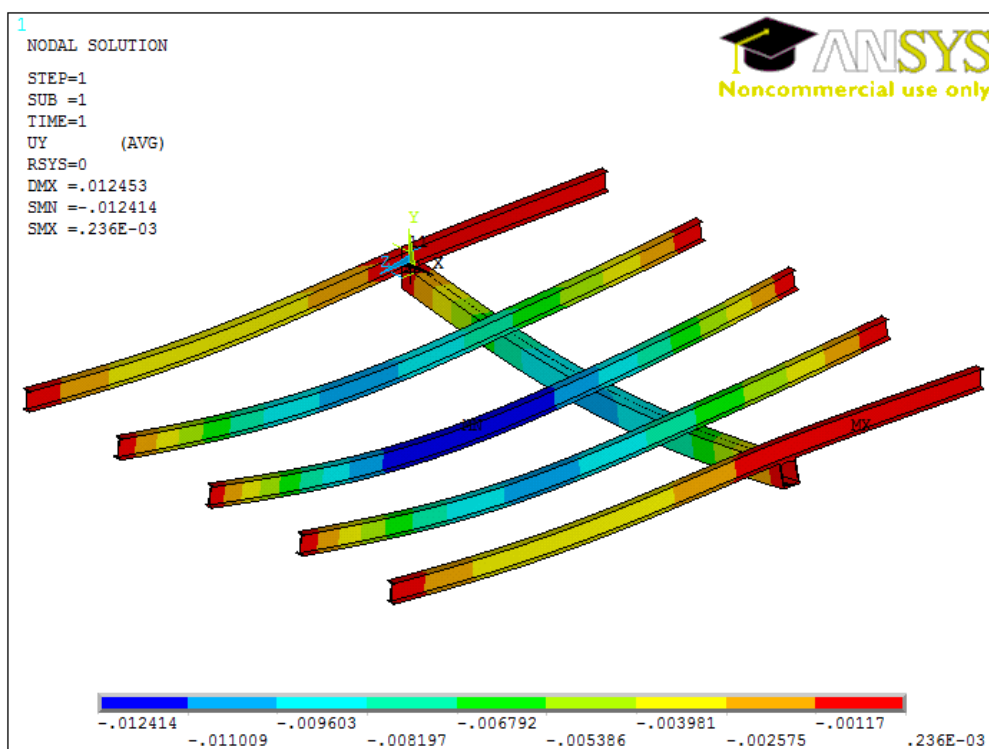
Hodnota napětí dolních vláken ve zjišťovaném průřezu dle ANSYSU činí $0,896E+08 \text{ Pa} = 89,600 \text{ MPa}$

10.3 Deformace (průhyb) na mezní stav použitelnosti

Postup zadání:

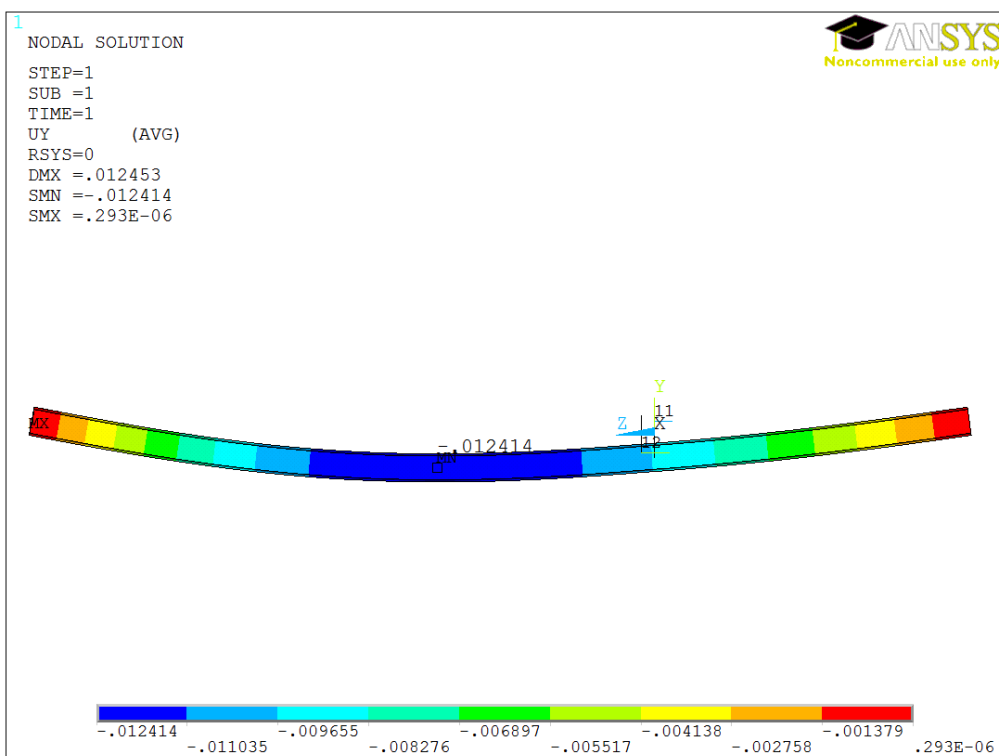
General Postprocessor => Plot Results => Contour Plot => Nodal Solution

V následující tabulce: „*Contour Nodal Solution Data*“ se zvolí *DOF Solution => Y - Component of Displacement*



Obrázek č. 33 - Průhyb ve směru globální osy Y na celé konstrukci

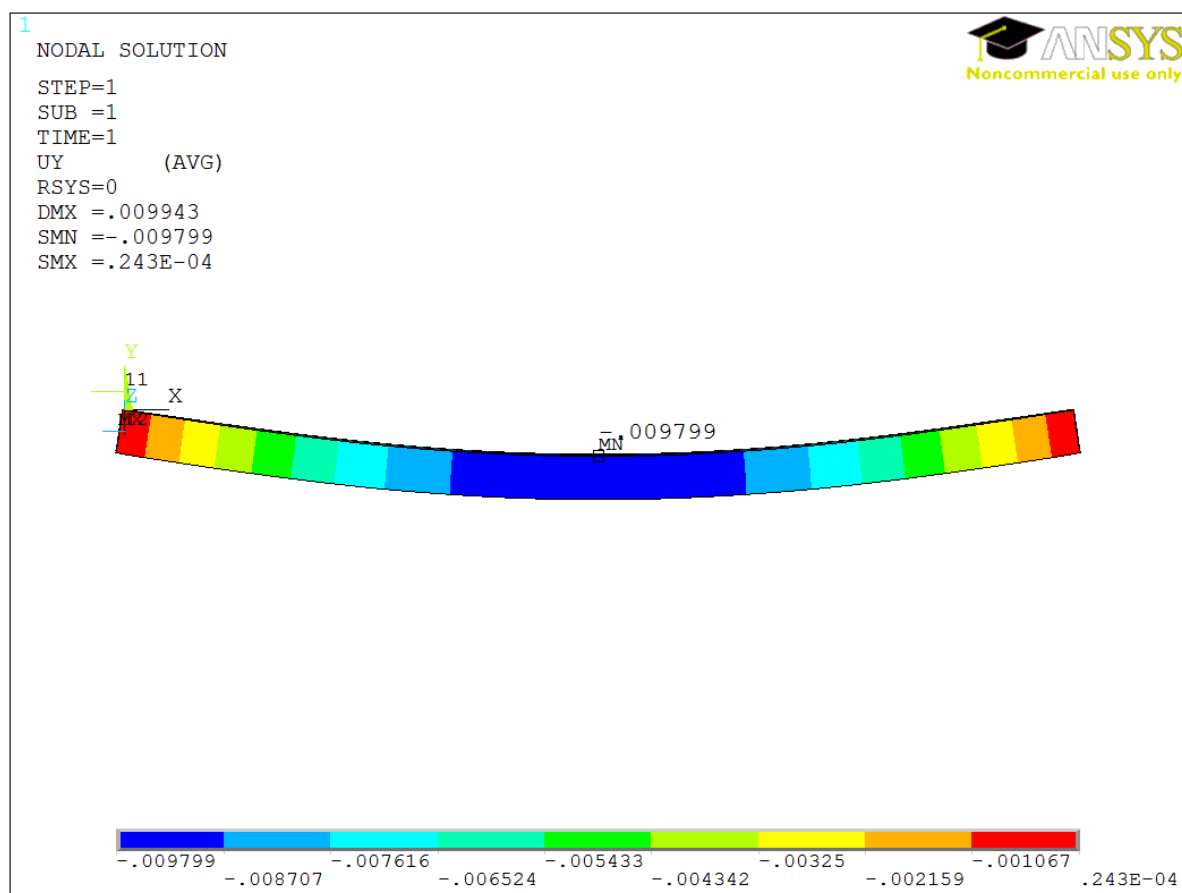
10.3.1 Průhyb na nejvíce namáhaném nosníku I 180



Obrázek č. 34 - Maximální průhyb ve směru globální osy Y na nosníku I180

Hodnota maximálního průhybu vypočtena pomocí ANSYSu činí -0,012414 m = -12,414 mm

10.3.2 Maximální průhyb na průvlaku 2xU 220



Obrázek č. 35 - Maximální průhyb ve směru globální osy Y na průvlaku 2xU 220

Hodnota maximálního průhybu vypočtena pomocí ANSYSu činí $-0,009799 \text{ m} = -9,7990 \text{ mm}$

11 KONTROLA VÝSLEDKŮ

Ověření správnosti výsledků z programu ANSYS

K ověření správnosti výsledků, které jsou získány z programu ANSYS, je použit ruční statický výpočet v kapitole 7. Pro porovnání byl vybrán největší průhyb průvlatu 2xU 220. K maximálním průhybům dochází v polovině světlé délky rozpětí nosníků. Další výsledky, a to napětí, jsou vztaženy k odpovídajícím průřezům maximálních deformací. Odlišnost hodnot z ANSYSu od hodnot ručního statického výpočtu je dána skutečností, že výpočtový program posuzuje stropní konstrukci jako nosníkový rošt, tudíž konstrukci několikrát staticky neurčitou, kde deformace a napětí spolupůsobí po celé konstrukci. Pro ověření výpočtu programem ANSYS s ručním výpočtem byl porovnán průvlak.

11.1 Průvlak 2xU220

11.1.1 Srovnání napětí - Mezní stav únosnosti

Hodnoty na dolních vláknech vypočítané ručním statickým výpočtem 131,219 MPa

Hodnoty na dolních vláknech získané pomocí programu ANSYS 124,640 MPa

Odchylka 5,27 %.

11.1.2 Srovnání napětí - Mezní stav použitelnosti

Hodnoty na dolních vláknech vypočítané ručním statickým výpočtem 94,163 MPa

Hodnoty na dolních vláknech získané pomocí programu ANSYS 89,600 MPa

Odchylka 5,09 %.

11.1.3 Srovnání průhybu - Mezní stav použitelnosti

Hodnoty vypočítané ručním statickým výpočtem 9,6670 mm

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS 9,7990 mm

Odchylka 1,37 %.

Vzhledem k malým odchylkám mezi ručním statickým výpočtem a programem ANSYS lze očekávat správnost modelu a dostatečně husté dělení modelu na konečné prvky.

12 ZÁVĚR

Vytvoření konečně prvkového modelu ocelové stropní konstrukce v programu ANSYS 13.0 bylo nutné přepočítat spojitě rovnoměrné zatížení na zatížení do uzlů na osu nosníků a vlastní tíhu nosné konstrukce zatížit tíhovým zrychlením. Výsledky ručního statického výpočtu odpovídají výsledkům z ANSYSu, a tak vytvořený MKP model lze považovat za ekvivalentní. Dostatečně husté dělení modelu na konečné prvky je vyhovující.

Vyhodnocení výsledků

Hodnoty maximálních deformací a napětí získané programem ANSYS jsou porovnány a vyhodnoceny s maximálně přípustnými hodnotami uvedené v normě ČSN EN 1993-1-1 (731401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí.

Účinky mezních hodnot použitelnosti závisí na vztahu účinků předpokládaných zatížení a provozních požadavků z hlediska řádného plnění požadované funkce konstrukce. Při mezním stavu použitelnosti se posuzuje, zda účinky od provozního výpočtového zatížení nejsou větší než mezní hodnoty pružných průhybů a dynamických účinků. [5]

12.1 Nosník I 180

12.1.1 Napětí - mezní stav únosnosti

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS $\sigma = 104,940 \text{ MPa}$

Normové hodnoty: $f_{yd} = 235,000 \text{ MPa}$

viz (4.12)

$$\sigma \leq f_{yd}$$

$$104,940 \text{ MPa} \leq 235,000 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

12.1.2 Průhyb - mezní stav použitelnosti

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS: $w_A = 12,4140 \text{ mm}$

Normové hodnoty pro nosníky: $w_{\text{normové}} = \frac{L}{250} = \frac{4000}{250} = 16,0000 \text{ mm}$

viz (7.10)

$$w_A \leq w_{\text{normové}}$$

$$12,4140 \text{ mm} \leq 16,0000 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

12.2 Průvlak 2xU 220

12.2.1 Napětí - mezní stav únosnosti

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS: $\sigma = 124,640 \text{ MPa}$

Normové hodnoty: $f_{yd} = 235,000 \text{ MPa}$

viz (4.12)

$$\sigma \leq f_{yd}$$

$$124,640 \text{ MPa} \leq 235,000 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

12.2.2 Průhyb - mezní stav použitelnosti

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS: $w_A = 9,7990 \text{ mm}$

Normové hodnoty pro průvlak: $w_{\text{normové}} = \frac{L}{400} = \frac{4882}{400} = 12,2050 \text{ mm}$

viz (7.10)

$$w_A \leq w_{\text{normové}}$$

$$9,7990 \text{ mm} \leq 12,2050 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Závěr

Vypočtené maximální hodnoty pomocí programu ANSYS jsou menší než normové mezní průhyby a napětí. Zadaná stropní konstrukce vyhovuje z hlediska únosnosti i použitelnosti pro obytné budovy.

Výsledky prokázaly, že navržená stropní konstrukce vyhoví jak z hlediska maximálního napětí, tak pro maximální průhyb.

Vytvořený MKP model stropní konstrukce je oprávněný a jeho výsledky lze považovat za správné.

Pomocí výše popsaného modelu lze zjistit hodnoty potřebných napětí a deformací v kterémkoli průřezu nebo uzlu konstrukce. Současně umožňuje zobrazení napětí a deformace na celém modelu. Toho lze využít při dimenzování jednotlivých nosných prvků konstrukce.

SEZNAM ZKRATEK

| | |
|---------------------------|---|
| A | ... obsah plochy celého průřezu [mm^2] |
| $I_y; I_z$ | ... moment setrvačnosti průřezu k ose y; z [mm^4] |
| $W_y; W_z$ | ... průřezový modul k ose y; z [mm^3] |
| $\gamma_{G,j}$ | ... součinitel stálého zatížení |
| $\gamma_{Q,k}$ | ... součinitel proměnného zatížení |
| $G_{k,j} = \sum g_0$ | ... zatížení stálé - od stropní konstrukce |
| $G_{k,i} = \sum g_1$ | ... zatížení stálé - od podlahy |
| $Q_k = q_k$ | ... zatížení proměnné - užitné |
| g_{MSU} | ... zatížení pro mezní stav únosnosti |
| g_{MSP} | ... zatížení pro mezní stav použitelnosti |
| $\alpha_{ij}; \beta_{ij}$ | ... deformační úhly |
| φ_{ij} | ... skutečná pootočení |
| M_a, M_b, M_c | ... nepodporové momenty |
| E | ... modul pružnosti oceli |
| I | ... moment setrvačnosti průřezu |
| EI | ... ohybová tuhost |
| R_{ya} | ... svislá reakce v podpoře „a“ |
| R_{yb} | ... svislá reakce v podpoře „b“ |
| R_{yc} | ... svislá reakce v podpoře „c“ |
| γ_{M0} | ... dílčí součinitel spolehlivosti materiálu |
| f_{yd} | ... mez kluzu oceli |
| σ | ... napětí v dolních vláknech nosníku |
| $g_{\text{podL;P}}$ | ... zatížení od podlahy na průvlak z levé; z pravé strany průvlaku |
| g_{stropL} | ... zatížení od stropní konstrukce na průvlak z levé; z pravé strany průvlaku |
| $q_{KL;P}$ | ... proměnné zatížení na průvlak z levé; z pravé strany průvlaku |
| γ_c | ... objemová tíha oceli |
| $\gamma_g; \gamma_q$ | ... součinitelé zatížení stálého; proměnného |
| g_0 | ... charakteristická hodnota vlastní tíhy průvlaku |
| g_{od} | ... návrhová hodnota vlastní tíhy průvlaku |
| $\sum q_L; \sum q_P$ | ... součet rovnoměrného spojitého zatížení zleva; zprava |
| Q | ... osamělá síla působící na průvlak v ose nosníku „I“ |

| | |
|--------------------|---|
| $Q/2$ | ... krajní osamělá síla na průvlak v ose nosníku „I“ |
| M_{MAX} | ... maximální ohybový moment |
| M_{Rd} | ... mezní normový ohybový moment |
| $w_{M_{MAX}}$ | ... průhyb od nosníků I180 + stálé zatížení + proměnné zatížení |
| w_q | ... průhyb od vlastní tíhy průvlaku |
| $w_{celkové}$ | ... celkový průhyb v polovině rozpětí |
| $w_{normové}$ | ... mezní normová hodnota průhybu |
| $\nu = \nu_{PRXY}$ | ... Poissonův součinitel |
| ρ | ... hustota |

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KUČERA, Václav. „Hurdiský“: Do roka a do dne. [online]. 12/2001, roč. 200. Dostupné z: <http://www.stavlisty.cz/2001/12/hurdis.html>
- [2] Poruchy stropních konstrukcí. *Koumak.cz* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.koumak.cz/stavba-krok-za-krokem/poruchy-stropni-konstrukce/>
- [3] FLACHS, Alois. HURDIS A HURDIS PRAHA, s.r.o. *Technická příručka pro projektanty a stavitele*. Praha, 2001
- [4] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2003
- [5] ČSN EN 1993-1-1 (731401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-1: *Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [6] HOŘEJŠÍ, Jiří a Jan ŠAFKA. *Statické tabulky: Technický průvodce 51*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987
- [7] Ansys: History. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Ansys#ANSYS_History
- [8] METODA KONEČNÝCH PRVKŮ V MECHANICE KONSTRUKCÍ. ŠPANIEL, Miroslav. *Http://mechanika2.fs.cvut.cz*. Praha, 2001 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://mechanika2.fs.cvut.cz/old/pme/examples/TEXTY/intro/teor_mkp.html
- [9] HRUBÝ, Jiří. METODA KONEČNÝCH PRVKŮ: 1. panel. *345.vsb.cz* [online]. VSB - Technical University Ostrava: Faculty of Mechanical Engineering [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jirihruby/Vmt/MKP_panel1.pdf

- [10] Release 13.0 Documentation for ANSYS

- [11] SALAJKA, Vlastislav. *PRUŽNOST A PLASTICITA: Přednášky CD03 doc. Ing. Vlastislav Salajka, CSc. © 2010.*

PŘÍLOHY

Seznam příloh:

Příloha č. 1 - Výkres stropu

Příloha č. I - Seznam souřadnic všech bodů I 180

Příloha č. II - Seznam souřadnic všech bodů U 220

Příloha č. III - Průřez 2x U 220

Příloha č. III. 1 - Souřadnice bodů průřezu 2xU 220

Příloha č. III. 2 - Úsečky (lines) průřezu 2xU 220

Příloha č. III. 3 - Rozdělené úseček (Meshed lines) průřezu 2xU 220

Příloha č. III. 4 - Plochy (Areas) průřezu 2xU 220

Příloha č. IV - Výpočet zatížení do uzlů na nosník I 180

Příloha č. IV. 1 - Hodnoty zatížení bez vlastní tíhy nosníku pro výpočet průhybu - MSP

Příloha č. IV. 2 - Hodnoty zatížení bez vlastní tíhy nosníku pro výpočet napětí - MSÚ